



Detecção Automática de Pontos Cefalométricos: Uma Revisão Crítica e Sistemática

Automatic Landmarking of Cephalograms: A Critical and Systematic Review

Detección Automática de Puntos Cefalométricos: Una Revisión Crítica y Sistemática

Michele Fúlvia Angelo¹, Fabiana Cristina Bertoni¹

RESUMO

Descritores:

Cefalometria; Inteligência Artificial; Ortodontia Corretiva

Objetivo: Apresentar uma revisão bibliográfica crítica e sistemática sobre detecção automática de pontos cefalométricos, a qual servirá de base para o desenvolvimento de novas técnicas. **Método:** O levantamento bibliográfico foi realizado por pesquisas em bases de dados como o ISI Web of Science Citation Index e na web. **Resultados:** Foram realizados dois tipos de análises: (1) foram analisados os resultados da detecção dos pontos cefalométricos Násio, Orbitário e Sella por serem objetos de estudo em todos os trabalhos selecionados; (2) foi realizada uma avaliação geral dos resultados apresentados em cada trabalho, em função da grande diferença nos resultados obtidos dentro de uma mesma abordagem. **Conclusão:** Pôde-se concluir que a melhor técnica para detectar um ponto cefalométrico nem sempre apresenta o mesmo desempenho na detecção de outros pontos. Pode-se observar também que para uma mesma abordagem, os resultados apresentados pelas técnicas são diferentes para um mesmo ponto.

ABSTRACT

Keywords:

Cephalometry; Artificial Intelligence; Orthodontics Corrective

Objective: To present a critical and systematic review about automatic landmarking of cephalograms. We also present an analysis about this review, in order to establish a baseline for the development of new techniques. **Method:** The literature survey was performed by hand-searched in databases as the ISI Web of Science Citation Index and on the web. **Results:** Two analysis were performed: (1) present a discussion about detection of Nasion, Orbitale and Sella landmarks, because these landmarks were studied in all of the papers selected; (2) analyze present an evaluation of the results from each paper selected due to the large difference in these results within the same approach. **Conclusion:** Through the analysis performed we concluded that the best technique to detect a cephalometric landmark cannot have the same performance in the detection of other landmarks. The presented results to each technique within the same approach are also different to the same landmark.

RESUMEN

Descriptores:

Cefalometría, Inteligencia Artificial, ortodoncia correctiva

Objetivo: Presentar un examen crítico y sistemático de la literatura en la detección automática de los puntos cefalométricos, que sirven como base para el desarrollo de nuevas técnicas. **Método:** La revisión de la literatura se llevó a cabo la investigación en bases de datos como ISI Web of Science Citation Index y la Web. **Resultados:** Se realizaron dos tipos de análisis: (1) analizó los resultados de la detección de puntos de referencia cefalométricos nasión, Orbital y Sella a ser objeto de estudio en todas las obras seleccionadas, (2) se realizó una evaluación de los resultados generales que se presentan en cada uno trabajo, debido a la gran diferencia en los resultados obtenidos en un enfoque similar. **Conclusión:** Se concluyó que la mejor técnica para la detección de un punto cefalométrico no siempre tiene el mismo rendimiento en la detección de otros puntos. Se puede observar también que por el mismo método, los resultados son diferentes técnicas para el mismo punto.

¹ Doutora em Engenharia Elétrica, Professora Adjunto da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS, Feira de Santana (BA), Brasil.

INTRODUÇÃO

A Cefalometria Radiográfica é a parte da ciência odontológica que se dedica à mensuração de grandezas lineares e angulares, em radiografias da cabeça, a qual se constitui num dos elementos essenciais ao diagnóstico ortodôntico e à avaliação de padrões de crescimento facial⁽¹⁾. Em 1931, Broadbent⁽²⁾ estabeleceu o uso da cefalometria como meio de diagnóstico moderno e desde então, este método vem sendo utilizado como parte dos registros, para auxiliar o diagnóstico e o planejamento dos tratamentos ortodônticos.

A abundância de informações radiográficas passou a ser organizada em análises cefalométricas. Estas, por sua vez, começaram a ser usadas para classificar os casos de acordo com o tipo de má oclusão, para definir o grau de desvio da normalidade e para medir a extensão das mudanças ocorridas durante o tratamento ou durante o período de observação⁽³⁾.

As análises cefalométricas têm sido tradicionalmente realizadas por meio de traçados sobre as telerradiografias laterais, porém, a determinação dos pontos cefalométricos tem se mostrado não reproduzível quando estes são comparados por diversos observadores. Essa não reproduzibilidade, segundo Houston⁽⁴⁾, é consequência da falta de precisão na determinação dos pontos cefalométricos, bem como dos erros de medida por instrumentos manuais (régua, compasso, lápis). Desta forma, diversos trabalhos vêm sendo realizados para avaliar as medidas cefalométricas obtidas manualmente ou por meio de imagens digitalizadas, e sempre a margem de erro tem se mostrado significativo, em especial, devido às diferenças na localização destes pontos⁽⁵⁾. Estes erros, por sua vez, possuem um importante significado, pois segundo pesquisadores da área, a má localização dos pontos pode mudar significativamente o diagnóstico e o planejamento do tratamento ortodôntico⁽⁶⁻⁸⁾.

Frente aos problemas de erros e considerando o elevado tempo gasto na marcação manual de pontos cefalométricos, trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de automatizar a localização destes pontos. A primeira tentativa de automatizar a marcação de pontos cefalométricos foi feita por Cohen e Linney⁽⁹⁾, localizando apenas os pontos Sella (S) e Mentoniano (Me).

Anos depois, Lévy-Mandel et al.⁽¹⁰⁾ aplicaram processamento digital de imagens em conjunto com o conhecimento prévio da estrutura do crânio para extrair contornos. Os pontos cefalométricos foram localizados de acordo com as definições geométricas dos contornos. O método foi testado em duas imagens de raios-X de alta qualidade e 23 dos 36 pontos cefalométricos foram localizados com uma precisão satisfatória. Em 1989, Parthasaraty et al.⁽¹¹⁾ introduziram no método desenvolvido por Lévy-Mandel et al.⁽¹⁰⁾ uma pirâmide de resolução de quatro níveis para reduzir o tempo de processamento. Os testes foram feitos com cinco imagens, sendo que de nove dos pontos considerados no estudo, 18% foram localizados com precisão de 1mm, 58% com precisão de 2mm e 100% com precisão 5mm. Estes trabalhos utilizaram poucas imagens para treinar e testar seus métodos. Em imagens

com ruídos ou de baixa qualidade estes métodos não funcionam, portanto, não podem ser usados para sistemas clínicos⁽¹²⁻¹³⁾.

Na tentativa de melhorar a precisão na localização dos pontos cefalométricos, reduzir o tempo de processamento e aumentar a quantidade de pontos localizados, outras abordagens baseadas em técnicas ou na combinação de técnicas vêm sendo aplicadas na detecção automática dos pontos cefalométricos. Tais técnicas podem ser divididas em três categorias: abordagens baseadas em Modelos^(12,14-15); abordagens de Computação Flexível⁽¹⁶⁻¹⁷⁾ e abordagens Híbridas^(13,18-19).

Considerando a diversidade de técnicas utilizadas para a detecção automática de pontos cefalométricos, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica crítica e sistemática sobre tal tema, apresentando os resultados obtidos por cada técnica e uma análise comparativa, a qual servirá de base para o desenvolvimento de novas metodologias.

MÉTODOS

O levantamento bibliográfico foi realizado por pesquisas em bases de dados como o ISI Web of Science Citation Index e na web. Nesta revisão, utilizou-se alguns critérios de inclusão para selecionar os trabalhos dentro de cada categoria, dentre os vinte e seis encontrados na literatura: (1) artigos completos; (2) artigos que apresentavam os resultados em milímetros ou em porcentagem de acerto por ponto cefalométrico detectado; e (3) período de publicação compreendido entre janeiro de 2000 e dezembro de 2010.

A seleção dos trabalhos foi realizada através da leitura dos abstracts dos artigos identificados em cada base de dados. Todos os artigos que pareceram satisfazer os critérios de inclusão foram selecionados. O processo de seleção foi feito pelas autoras de forma independente, e em seguida, os resultados foram comparados. Quando houveram discrepâncias, estas foram resolvidas através do diálogo. Para os artigos em que o abstract não apresentava informações suficientes que indicassem sua inclusão, os textos completos foram analisados para se tomar uma decisão final. As listas de referência dos artigos selecionados também foram verificadas com o objetivo de encontrar novos trabalhos que se enquadrassem nos critérios de inclusão.

Dados os critérios de inclusão citados, foram desconsiderados os artigos de revisão e resumos por não apresentarem as técnicas e os resultados obtidos de forma detalhada, e aqueles que apresentavam seus resultados apenas em gráficos ou medidos em pixels, por serem poucos e pela incompatibilidade na comparação dos resultados. Também foram excluídos os trabalhos que não apresentavam os resultados de cada ponto cefalométrico separadamente.

Os trabalhos que utilizam técnicas de processamento de imagens em conjunto com o conhecimento prévio da estrutura do crânio não foram inseridos nesta revisão por se tratarem de artigos publicados em datas anteriores a janeiro de 2000.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Nesta seção são apresentadas as descrições e os resultados dos trabalhos selecionados em cada uma das abordagens mencionadas na seção Introdução.

Abordagens Baseadas em Modelos

Hutton, Cunningham e Hammond⁽¹²⁾ utilizaram a evolução da aplicação de modelos de contornos ativos para detecção de pontos cefalométricos. Foram selecionados randomicamente 63 cefalogramas, os quais tiveram seus pontos marcados no computador por um especialista com a finalidade de produzir um padrão, e testados usando um esquema *drop-one-out*. Em média, 13% dos 16 pontos marcados foram localizados com precisão de 1mm, 35% com precisão de 2mm, e 74% com precisão de 5mm. Eles concluíram que a ferramenta desenvolvida não era tão eficiente para a detecção completa dos pontos, mas poderia ser utilizada em uma análise inicial, reduzindo desta forma o tempo na localização dos pontos.

El-Feghi et al.⁽¹⁴⁾ desenvolveram um modelo de aproximador funcional baseado no erro quadrático mínimo. Este modelo utilizou imagens de referência para cada grupo de indivíduos, considerando a variabilidade morfológica do crânio humano, onde foram marcados 9 pontos cefalométricos iniciais. Assim, na detecção dos pontos em uma nova imagem, uma imagem de referência correspondente foi localizada, e através de uma aproximação funcional, os 9 pontos cefalométricos iniciais foram então marcados na nova imagem. A partir destes 9 pontos, outros puderam ser localizados, também pela aplicação do aproximador. O modelo foi testado em mais de 80 imagens para marcar 20 pontos, sendo possível localizar com precisão de 2mm cerca de 90% dos pontos.

Vuëiniã, Trpovski and Šæpan⁽¹⁵⁾ utilizaram um modelo de aparência ativa na marcação dos pontos, o qual continha um modelo estatístico de forma e de textura de um objeto de interesse e representava sua variação. Eles usaram 60 cefalogramas para os testes e obtiveram 61% de pontos localizados com precisão de 2mm e 95% com precisão de 5mm.

Abordagens Baseadas em Computação Flexível

Chakrabartty et al.⁽¹⁶⁾ aplicaram a técnica de classificação de padrões *support vector machine* para modelar os limites entre os diferentes pontos cefalométricos e também entre as estruturas de fundo das imagens. Os resultados foram obtidos através da detecção de 8 pontos cefalométricos em uma amostra de 40 imagens e demonstram uma precisão média de aproximadamente 94% na detecção dos pontos, considerando um erro de 1mm entre a posição real do ponto e a localização apresentada pelo classificador.

El-Feghi, Sid-Ahmed, Ahmadi⁽¹⁷⁾ utilizaram uma rede neural do tipo Perceptron Multicamadas (PMC) como um aproximador funcional, para localizar automaticamente 20 pontos cefalométricos. Dois experimentos foram realizados usando um conjunto de 210 imagens, sendo 105 para treinamento e 105 para teste.

Os resultados demonstraram que foi possível localizar mais de 81% dos 20 pontos em todas as imagens com uma precisão menor ou igual a 2mm.

Abordagens Híbridas

Grau et al.⁽¹⁸⁾ desenvolveram uma ferramenta onde a detecção dos pontos foi composta por duas etapas: a primeira identificou as linhas que possuíam alto contraste, como a linha do queixo ou espinha nasal; a segunda usou as linhas detectadas na primeira etapa para determinar a busca das áreas, e assim, aplicar um algoritmo baseado em técnicas de morfologia matemática. A relação entre os pontos marcados e linhas foi determinada por meio de um processo de treinamento. O sistema foi testado para localizar 17 pontos em 20 imagens, e mais de 90% foram identificados com precisão inferior a 2mm.

Saad et al.⁽¹⁹⁾ descreveram um modelo de contorno ativo associado a técnica de *Simulated Annealing* para a identificação automática de 18 pontos cefalométricos, o qual utilizou um conjunto de dados de padrões de forma e textura, construído com base em 20 imagens marcadas manualmente. Os resultados demonstraram uma média de erro de 3,1mm entre a localização do ponto obtida pelo modelo proposto e a localização real do ponto.

Rueda and Alcañiz⁽¹³⁾ desenvolveram um sistema baseado em morfologia matemática, para homogeneizar a imagem, associado a um modelo de aparência ativa, para segmentação. Eles utilizaram 96 imagens para os testes, considerando a localização de 28 pontos. Neste estudo, 50,04% dos pontos foram localizados com precisão de 2mm, 72,62% com precisão de 3mm e 91,44% com precisão de 5mm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em função da quantidade de trabalhos publicados sobre detecção automática de pontos cefalométricos, esta revisão foi realizada para organizar de forma sistemática as informações e os resultados, facilitando a busca de conhecimento sobre este tema para a realização de novas pesquisas.

A pesquisa de trabalhos relacionados à detecção automática de pontos cefalométricos resultou em vinte e seis artigos. Considerando os critérios de inclusão mencionados na seção Métodos, oito artigos foram selecionados para a elaboração desta revisão e a Tabela 1 ilustra as medidas de precisão apresentadas nestes trabalhos. Algumas medidas foram apresentadas em milímetros e outras em porcentagem. As medidas em milímetros representam a distância (erro) entre a localização dos pontos encontrada pelas técnicas desenvolvidas e a localização exata dos pontos. Já as medidas expressas em porcentagem indicam a taxa de acerto no processo de detecção dos pontos, considerando precisões entre 1mm e 5mm. Os pontos selecionados para compor a Tabela 1 foram escolhidos com base nos pontos em comum considerados na maioria dos trabalhos.

Com base nos resultados coletados de cada trabalho apresentado na Tabela 1, duas análises foram realizadas com o objetivo de avaliar as abordagens que estão sendo

utilizadas para a localização automática de pontos cefalométricos e quais delas têm apresentado resultados promissores na solução deste problema. Esta avaliação foi realizada com base nos parâmetros de erro médio considerados pelos ortodontistas na marcação automática dos pontos cefalométricos, os quais classificam como bom o erro menor ou igual a 2mm e como aceitável o erro entre 2mm e 4mm^(14,19).

Primeiramente, foi realizada a Análise 1 considerando os pontos cefalométricos Násio, Orbitário e Sella por serem objetos de estudo em todos os trabalhos selecionados. Em seguida, na Análise 2, foi feita uma comparação dos resultados apresentados em cada trabalho dentro de uma mesma abordagem.

Análise 1

Para os pontos Násio, Orbitário e Sella, ao considerar apenas os trabalhos que apresentaram seus resultados em milímetros, é possível perceber uma grande variação na média da taxa de erro entre a localização real do ponto e a localização encontrada por cada técnica. Para a localização do ponto Násio, a menor taxa de erro médio foi de 1,40mm⁽¹⁸⁾ e a maior foi de 5,6mm⁽¹²⁾, apresentando uma variação de 4,2mm. Para o Orbitário, a menor taxa de erro médio foi de 1,92mm⁽¹⁸⁾ e a maior foi de 5,5mm⁽¹²⁾, apresentando uma variação de 3,58mm. Já para o ponto Sella, a menor taxa de erro médio foi de 1,92mm⁽¹⁸⁾ e a maior foi de 5,5mm⁽¹²⁾, apresentando uma variação de 3,58mm.

Considerando os pontos Násio e Orbitário, o trabalho de Grau et al.⁽¹⁸⁾ apresentou os menores erros médios que foram de 1,4mm e 1,92mm, respectivamente. Os maiores erros médios foram obtidos no trabalho de Hutton, Cunningham e Hammond⁽¹²⁾, sendo que para o

ponto Násio foi de 5,6mm e para o ponto Orbitário foi de 5,5mm.

No caso do Ponto Sella o trabalho de Vuëiniã, Trpovski and Šćepan⁽¹⁵⁾ obteve o menor erro médio de 1,87mm, enquanto o trabalho de Hutton, Cunningham e Hammond⁽¹²⁾ apresentou o maior erro, que foi de 5,5mm.

Nos trabalhos onde os resultados foram ilustrados em porcentagem, houve um equilíbrio na taxa de acerto da localização do ponto Násio, uma vez que esta taxa variou de 85% a 100%. Para o ponto Orbitário houve uma variação considerável, pois o trabalho de Grau et al.⁽¹⁸⁾ obteve um percentual de acerto de 65% e o de Chakrabarty et al.⁽¹⁶⁾ de 99%. Analisando o ponto Sella, nenhuma taxa de acerto superior a 90% foi encontrada, variando de 65%⁽¹⁸⁾ a 88%⁽¹⁴⁾.

Avaliando a eficiência de cada abordagem na localização dos pontos Násio, Orbitário e Sella através dos dados mostrados na Tabela 1, as abordagens de Computação Flexível e Híbrida apresentam desempenho superior à abordagem baseada em Modelos na detecção do Ponto Násio, e os resultados das técnicas dentro de cada uma dessas abordagens possuem pouca variação. No caso do Orbitário, a abordagem baseada em Computação Flexível se mostrou mais eficiente do que as demais, obtendo um acerto de 99% com uma precisão de 1mm no trabalho de Chakrabarty et al.⁽¹⁶⁾ e de 86% com uma precisão menor ou igual a 2mm no trabalho de El-Feghi, Sid-Ahmed, Ahmadi⁽¹⁷⁾. Por fim, para o Sella, ponto cefalométrico considerado de difícil identificação por técnicas de detecção automática, a abordagem baseada em Modelos apresenta melhor desempenho que as abordagens de Computação Flexível e Híbrida, considerando os trabalhos de El-Feghi et al.⁽¹⁴⁾ e Vuëiniã,

Tabela 1 - Medidas de precisão na detecção automática de alguns pontos cefalométricos

| Pontos Cefalométricos | Abordagens | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|---|-------------------------------------|--|---|--------------------------------------|----------|----------------------------------|--|
| | Modelos | | | Computação Flexível | | | Híbridas | | |
| | Hutton, Cunningham e Hammond ⁽¹²⁾ (mm) | Vučinić, Trpovski and Šćepan ⁽¹⁵⁾ (mm) | El-Feghi et al. ⁽¹⁴⁾ (%) | Chakrabarty et al. ⁽¹⁶⁾ (%) | El-Feghi, Sid-Ahmed, Ahmadi ⁽¹⁷⁾ (%) | Grau et al. ⁽¹⁸⁾ (%) (mm) | | Saad et al. ⁽¹⁹⁾ (mm) | Rueda and Alcañiz ⁽¹³⁾ (mm) |
| Gnátio (Gn) | 2,7 | 1,31 | 96 | - | 86 | 90 | 1,44 | 4,21 | 1,58 |
| Gônio (Go) | 5,8 | 2,13 | 93 | - | 81 | 85 | 1,11 | 3,63 | 3,88 |
| Mentoniano (Me) | 2,7 | 1,23 | 94 | - | 86 | 100 | 0,48 | 4,4 | 1,59 |
| Násio (N) | 5,6 | 1,42 | 100 | 95 | 86 | 85 | 1,40 | 2,96 | 2,31 |
| Orbitário (Or) | 5,5 | 2,22 | 90 | 99 | 86 | 65 | 1,92 | 3,42 | 2,05 |
| Pogônio (Pog) | 2,7 | 1,33 | - | 98 | 81 | 95 | 0,95 | 3,65 | 1,83 |
| Sella (S) | 5,5 | 1,87 | 88 | 87 | 67 | 65 | 1,92 | 3,24 | 2,04 |
| Porion (P) | 7,3 | 3,27 | - | - | - | - | - | 3,48 | 3,66 |
| Supramentale (B) | 2,6 | 1,20 | 89 | - | 89 | - | - | 2,23 | 2,19 |
| Posterior Nasal Spine (PNS) | 5,0 | 1,56 | - | 96 | - | 80 | 1,32 | 3,0 | 2,67 |
| Anterior Nasal Spine (ANS) | 3,8 | 1,99 | - | 98 | 71 | 90 | 0,75 | 2,7 | 2,12 |
| Subspinale (A) | 3,3 | 1,41 | - | - | - | 95 | 0,9 | 2,55 | 2,0 |
| Upper Incisor Root | 2,9 | 1,72 | - | - | - | 100 | 0,54 | 2,1 | 1,98 |
| Upper Incisor Tip | 2,9 | 1,34 | - | - | - | 90 | 0,9 | 3,65 | 1,82 |
| Lower Incisor Root | 3,9 | 1,07 | - | - | - | 100 | 0,89 | 3,52 | 1,55 |
| Lower Incisor Tip | 3,1 | 1,24 | - | - | - | 100 | 0,84 | 3,15 | 1,52 |

Trpovski and Šæepan⁽¹⁵⁾.

Análise 2

Considerando a abordagem baseada em Modelos, o trabalho de Hutton, Cunningham e Hammond⁽¹²⁾ apresentou os piores resultados, uma vez que nenhum dos pontos foi localizado com precisão menor ou igual a 2mm, 6 pontos foram localizados com precisão acima de 4mm, o que é considerado inaceitável pelos ortodontistas, e 10 pontos dentro do limite aceitável, entre 2mm e 4mm. No trabalho de Vuëiniæ, Trpovski and Šæepan⁽¹⁵⁾, apesar de três pontos terem sido localizados com precisão aceitável, os demais foram localizados com precisão menor que 2mm, o que demonstra um bom resultado. No caso do trabalho de El-Feghi et al.⁽¹⁴⁾, os pontos foram localizados com uma taxa de acerto considerada boa, variando de 88% a 100%. Assim, estas duas últimas técnicas podem ser compreendidas como as melhores dentro da abordagem baseada em Modelos.

Para a abordagem de Computação Flexível, o trabalho desenvolvido por Chakrabartty et al.⁽¹⁶⁾ apresentou uma taxa de acerto que variou de 87% a 99%, considerando uma precisão de 1mm, resultado que permite classificar tal trabalho como o melhor dentro da abordagem em questão, uma vez que o trabalho de El-Feghi, Sid-Ahmed, Ahmadi⁽¹⁷⁾, obteve uma taxa de acerto inferior à encontrada por Chakrabartty et al.⁽¹⁶⁾, variando de 67% a 89%, com precisão de 2mm, também inferior.

Avaliando as técnicas dentro da abordagem Híbrida, no trabalho de Grau et al.⁽¹⁸⁾ os resultados demonstraram uma alta taxa de acerto na maioria dos pontos (entre 80% e 100%), sempre considerando um erro inferior a 2mm. Já no trabalho de Saad et al.⁽¹⁹⁾, nenhum dos pontos foi localizado com precisão menor a 2mm, 14 pontos foram localizados com precisão entre 2mm e 4mm e 2 pontos acima de 4mm. No caso do trabalho de Rueda and Alcañiz⁽¹³⁾ metade dos pontos foram localizados com precisão menor ou igual a 2mm e a outra metade com precisão aceitável, entre 2mm e 4mm. Sendo assim, a melhor técnica dentro desta abordagem é a proposta por Grau et al.⁽¹⁸⁾.

CONCLUSÃO

Esta revisão teve como objetivo identificar, selecionar e analisar de forma crítica e sistemática, relevantes pesquisas na área de marcação automática de pontos cefalométricos, a qual servirá de base para o desenvolvimento de novas metodologias e sistemas computacionais.

Alguns problemas foram encontrados durante a seleção dos artigos para compor esta revisão. Muitos dos

trabalhos encontrados na literatura não apresentavam o critério de seleção das radiografias utilizadas para os testes, nem mesmo as características de digitalização, tais como resolução de contraste e resolução espacial. Outros não apresentavam os resultados da localização de cada ponto separadamente, mostrando apenas a taxa média de acerto para todos os pontos. Além disso, os trabalhos apresentavam duas formas diferentes de ilustrar os resultados, alguns em milímetros e outros em porcentagem, o que dificultou a comparação entre eles.

Após a seleção dos trabalhos que fariam parte desta revisão, um aspecto que merece destaque é a forma de apresentação do erro entre a localização real do ponto e a localização automática. Segundo Leonardi et al.⁽²⁰⁾, na pesquisa e prática ortodôntica recomenda-se um erro total de 0,59mm para a coordenada x do ponto e 0,56mm para a coordenada y do ponto, resultando no valor Euclidiano do erro de aproximadamente 0,81mm. Entretanto, nenhum dos trabalhos se referem a este valor, considerando o erro Euclidiano menor ou igual a 2mm como bom, e maior que 2mm e menor ou igual a 4mm como aceitável. Conseqüentemente, como são necessários dois pontos para traçar uma linha ou plano de referência, a posição espacial resultante da linha ou plano será afetada pelos erros dos dois pontos, não apenas de um, aumentado o erro total.

Com base nas análises realizadas, pode-se concluir que a melhor técnica para a detecção de um ponto cefalométrico nem sempre apresenta o mesmo desempenho na detecção de outros pontos. Pode-se observar também que para uma mesma abordagem, os resultados apresentados pelas técnicas são diferentes para um mesmo ponto. No entanto, mesmo que os resultados não sejam considerados ótimos para todos os pontos, o uso destas técnicas pode oferecer uma estimativa inicial do ponto, auxiliando o especialista em sua rotina clínica, o qual terá que realizar apenas ajustes na localização de alguns pontos. Este auxílio reduz o tempo gasto pelo especialista quando comparado com a marcação manual, que pode levar até 20 minutos. É importante mencionar também que as técnicas de detecção automática de pontos não estão sujeitas aos erros de reprodutibilidade existentes na marcação manual.

Outro fator que merece destaque é o surgimento da radiografia digital, a qual propiciará um aumento no uso e no desempenho das técnicas automáticas de detecção de pontos cefalométricos, pelo fato de não ser necessária a digitalização das radiografias que consome um tempo considerável no processo de análise cefalométrica e pode reduzir a qualidade das imagens.

REFERÊNCIAS

1. Pereira CB, Mundstock CA, Berthold TB. Introdução à cefalometria radiográfica. 3a ed. São Paulo: Pancast; 1998.
2. Broadbent BH. A new x-ray technique and its application to orthodontics. *Angle Orthod.* 1931;1(2):45-66.
3. Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements. *Am J Orthod.* 1971;60(2):111-27.
4. Houston WJB. A comparison of the reliability of measurement of cephalometric radiographs by tracings and direct digitization. *Swed Dent J.* 1982(Suppl);15:99-103.
5. Amad Neto M, Chilvarquer I, Scocate ACRN, Santos CAO. Confiabilidade de medidas cefalométricas obtidas na telerradiografia lateral da cabeça. *Orthodontic Science and Practice.* 2012; 5(20): 520-5.
6. Amad Neto M. Estudo da padronização para a determinação de pontos cefalométricos utilizados na cefalometria radiológica [Tese]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2004.
7. Roden-Johnson D, English J, Gallerano R. Comparison of

- hand-traced and computerized cephalograms: landmark identification, measurement, and superimposition accuracy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(4):556-64.
8. Broch J, Slagsvold O, Rosler M. Error in landmark identification in lateral radiographic headplates. *Eur J Orthod.* 1981;3(2):9-13.
 9. Cohen AM, Ip HH, Linney AD. A preliminary study of computer recognition and identification of skeletal landmarks as a new method of cephalometric analysis. *Br J Orthod.* 1984;11(3):143-54.
 10. Lévy-Mandel A, Venetsanopoulos A, Tsotsos J. Knowledge-based Landmarking of cephalograms. *Comput Biomed Res.* 1986;19(3):282-309.
 11. Parthasarathy S, Nugent ST, Gregson PG, Fay DF. Automatic landmarking of cephalograms. *Comput Biomed Res.* 1989; 22(3):248-69.
 12. Hutton TJ, Cunningham S, Hammond P. An evaluation of active shape models for the automatic identification of cephalometric landmarks. *Eur J Orthod.* 2000; 22(5):499-508.
 13. Rueda S, Alcañiz M. An approach for the automatic cephalometric landmark detection using mathematical morphology and active appearance models. *LNCS.* 2006; 4190:159-66.
 14. EL-Feghi I, Galhood M, Sid-Ahmed M, Ahmadi M. Automated 2-D cephalometric analysis of x-ray by image registration approach based on least square approximator. *30th Annual International IEEE-EMBS Conference; 2008 Ago 21-24; Vancouver; 3949-52.*
 15. Vučina P, Trpovski •, Šačepan I. Automatic landmarking of cephalograms using active appearance models. *Eur J Orthod.* 2010; 32(3):233-41.
 16. Chakrabarty S, Yagi M, Shibata T, Cauwenberghs G. Robust cephalometric landmark identification using support vector machines. *Proceedings of the International Conference on Multimedia and Expo; 2003 Jul 6-9; Baltimore; III:429-32.*
 17. El-Feghi I, Sid-Ahmed MA, Ahmadi M. Automatic localization of craniofacial landmarks using multi-layer perception as a function approximator. *Pattern Recognit Lett.* 2006; 27(6):544-50.
 18. Grau V, Alcañiz M, Juan MC, Monserrat C, Knoll C. Automatic localization of cephalometric landmarks. *J Biomed Inform.* 2001;34(6):146-56.
 19. Saad AA, El-Bialy A, Kandil AH, Ahmed AS. Automatic cephalometric analysis using active appearance model and simulated annealing. *GVIP 05 Conference; 19-21 Dec 2005; Cairo, Egypt;19-21.*
 20. Leonardi R, Giordano D, Maiorana F, Spampinato C. Automatic cephalometric analysis. *Angle Orthod.* 2008;78(1):145-51.