

Análise Digital de Radiografias Dentárias

Luís Coelho*, Augusto Silva

Abstract – Digital image analysis is now considered an important complementary tool for medical diagnosis in a wide variety of instances. Several pathologies can be detected and classified with computer aided support. Dentistry uses the dental x-rays as an aid in their diagnoses. In this paper we describe several digital image analysis techniques focused on the identification of teeth contours. Contour information is then post-processed in order to provide quantitative parameterization of the degree of periodontitis. In our work we implemented three techniques of analysis. The first method uses the gradient information, the second method uses probabilistic models of the intensity distribution, and finally, the third method uses the Deformable models (GVF Snakes). Special attention is given to the initialization modes used in each technique. Finally we show the experimental results of each method regarding the extraction of the crown contours and the detection of the gum level.

Resumo – A análise digital de imagens constitui um meio complementar que facilita o diagnóstico de diversas patologias, em diversas áreas. A Odontologia usa as radiografias dentárias para auxiliar nos seus diagnósticos. Neste artigo estão descritas algumas técnicas de análise digital de radiografias dentárias, usadas para a extracção dos contornos de dentes, com o objectivo de apoiar o diagnóstico de determinadas patologias. Foram implementadas três técnicas de análise, a primeira usa a informação do gradiente da imagem, a segunda usa modelos probabilísticos da distribuição de intensidades e a terceira usa os modelos deformáveis (GVF Snakes). Após a apresentação sucinta das técnicas implementadas, descrevem-se os modos de inicialização usados em cada uma das técnicas. Segue-se a descrição dos algoritmos de validação dos pontos do contorno da coroa e da detecção do nível da gengiva. Finalmente são apresentados os resultados obtidos com a aplicação destas técnicas em imagens reais.

Keywords – Digital Image Analysis, Dentistry, Periodontitis

Palavras chave – Análise Digital de Imagem, Radiografias Dentais, Periodontite

I. INTRODUÇÃO

As técnicas imagiológicas assumem-se cada vez mais relevantes no universo dos meios complementares de diagnóstico médico. No sentido de maximizar a acuidade do diagnóstico, procura-se correlacionar a informação imagiológica com outros dados clínicos. A odontologia recorre, também, à radiologia projectiva para auxiliar os seus diagnósticos. Um dos principais objectivos do uso do computador é eliminar os erros associados à actividade humana

e recorrer à velocidade e reprodutibilidade algorítmica dos computadores, para garantir, de forma eficaz, o máximo de rigor ao diagnóstico. Com a digitalização das radiografias, e com o auxílio de um computador, pode-se visualizar e alterar a imagem a qualquer momento, melhorando a perceptibilidade; visualizar áreas ampliadas; comparar as alterações efectuadas com a imagem original e armazená-las em discos rígidos para que possam ser consultadas posteriormente. Além disso, as imagens poderão ser reproduzidas e transmitidas para outros locais distantes, de maneira rápida e segura. A troca de informações clínicas entre várias partes, promove o debate sobre o estado clínico do paciente, podendo aumentar o grau de certeza do diagnóstico.

Recentemente surgiram algumas publicações, que referem a aplicação de algumas técnicas de análise digital na identificação humana através de radiografias dentárias. Jain et al. [1], [2], refere a aplicação de técnicas de análise e processamento digital de imagem e de reconhecimento de padrões, com o intuito de reconhecer a identidade de cadáveres. É feita uma análise a radiografias dentárias do cadáver, e partindo dessa análise, procede-se à pesquisa numa base de dados de radiografias dentárias, de modo a identificar a identidade da pessoa em causa. Estas técnicas de extracção dos contornos do dente são divididas em duas etapas. A extracção do contorno da coroa, e a extracção do contorno da raiz. Muito recentemente, Chen e Jain [3], propuseram um método baseado em modelos de contorno activo também conhecidos por Snakes. O método proposto é denominado por Directional Snake [4], que tem como base a direcção da variação do gradiente da imagem. Neste trabalho foi implementado um método conhecido por Gradient Vector Flow - Snakes (GVF - Snakes), proposto originalmente por Xu e Prince [5]-[7]. Apesar de serem várias as aplicações conhecidas para estes métodos, ainda não foram encontradas referências em relação ao uso destes métodos na identificação e avaliação de patologias do foro estomatológico. Este artigo começa por descrever as características de cada um dos métodos implementados; segue-se a descrição dos modos de inicialização permitidos para cada um dos métodos descritos, aos quais se segue a descrição do algoritmo de validação dos contornos da coroa e da detecção dos níveis da gengiva. Finalmente é feita a exposição dos resultados obtidos e são apresentadas algumas conclusões, assim como algumas sugestões para trabalhos futuros.

II. EXTRACÇÃO DO CONTORNOS DO DENTE

No nosso trabalho, implementámos três métodos para a detecção dos contornos do dente. Dois deles procedem à detecção individual de cada uma das partes principais do

*Financiado pela Unidade de Investigação 127/94 IEETA da Universidade de Aveiro.

dente (a coroa e a raiz). O primeiro usa a informação do gradiente da imagem e o segundo usa modelos probabilísticos da distribuição dos níveis de intensidade. O terceiro método usa os modelos deformáveis (Snakes) e trata o dente como um todo, detectando a totalidade do seu contorno, que posteriormente é separado nas suas partes constituintes. Segue-se a descrição dos algoritmos usados, por cada um dos métodos.

A. Método do Gradiente

Este método, sugerido por Jain et al. [2], pode ser dividido em duas etapas, a etapa de detecção da coroa e a etapa de detecção da raiz. Por norma, as radiografias dentárias não apresentam uma boa definição e os dentes nela representados apresentam várias alterações na sua morfologia, tornando muito difícil o desenvolvimento de um sistema de segmentação, totalmente automático. Para facilitar a tarefa de detecção dos contornos do dente, é necessário que o utilizador marque aproximadamente o centro da coroa, C , um rectângulo R em torno do dente que pretende segmentar e um ponto que defina o raio de varrimento para determinar os pontos do contorno da coroa. A partir desta selecção, o sistema detecta automaticamente os contornos do dente assinalado. Na fig. 1(a) está ilustrado um exemplo dos pontos a assinalar, na inicialização do sistema. O algoritmo de detecção da coroa inicia-se com o cálculo do gradiente da imagem, $|\nabla I|$ da imagem I . (ver fig. 1(b)). Na zona de contacto entre o dente em análise e os dentes adjacentes existe interferência nos contornos. Existe uma técnica que elimina essa interferência e que consiste em aplicar uma máscara B à imagem gradiente. O resultado é a imagem auxiliar M (fig. 1(c)), determinada por,

$$M(x, y) = B(x, y) |\nabla I(x, y)| \quad (1)$$

onde

$$B(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{se } \langle \nabla I(x, y), E(x, y) \rangle < 0 \\ 1 & \text{restantes casos} \end{cases} \quad (2)$$

sendo $\nabla I(x, y)$ o vector gradiente no ponto (x, y) , $E(x, y)$ o vector definido pelo centro da coroa C e pelo ponto (x, y) , onde $\langle \dots \rangle$ representa o produto interno.

Após este processamento, inicia-se o processo de detecção do contorno. Este processo obedece aos seguintes passos:

- Partindo do centro da coroa, C , efectua-se um varrimento radial de modo a determinar os pontos candidatos a contorno da coroa. Ver fig. 1(d);
- Ordenam-se todos os pontos de cada linha radial em termos dos valores de $M(x, y)$, armazenando os três valores mais elevados e as respectivas coordenadas dos pontos onde se registaram esses valores;
- Determina-se um grau de confiança, $R(x, y)$, de cada um dos pontos guardados. O valor mais elevado corresponde ao ponto do contorno da coroa.

O cálculo do grau de confiança é determinado de acordo com a seguinte expressão

$$R(x, y) = \begin{cases} e^{-\alpha(M(x, y) - \bar{M})^2} & \text{se } M(x, y) < \bar{M} \\ 1 & \text{se } M(x, y) \geq \bar{M} \end{cases} \quad (3)$$

onde, α é uma constante que impede que $R(x, y)$ seja muito pequeno, e \bar{M} o valor médio dos três valores $M(x, y)$ entretanto guardados.

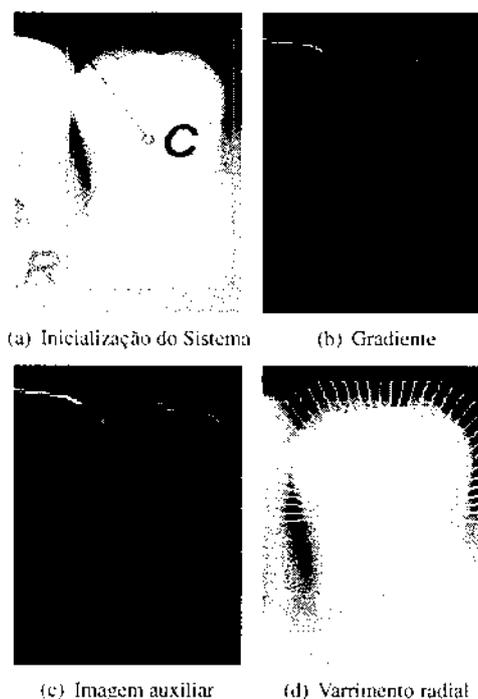


Figura 1 - Passos iniciais da detecção de contornos

A detecção do contorno da raiz é efectuada a partir do contorno encontrado para a coroa, e obedece aos seguintes pontos:

- O primeiro ponto da raiz do lado direito/esquerdo corresponde ao último ponto do contorno da coroa do lado direito/esquerdo respectivamente;
- Os novos pontos do contorno da raiz são determinados tendo em conta o último ponto a ser encontrado e o seu "contexto". A medida do "contexto" é determinada pelos atributos I_{inner} e I_{outer} da imagem onde, I_{inner} é a intensidade média dos pixels de uma pequena região da parte interna do dente e I_{outer} é a intensidade média dos pixels de uma pequena região da parte externa do dente. Ver fig. 2

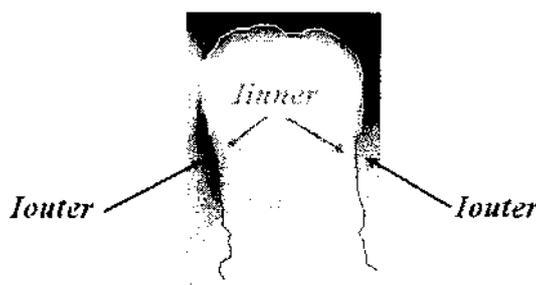


Figura 2 - Atributos do dente I_{inner} e I_{outer} .

Se o ponto i do contorno tiver coordenadas (x_i, y_i) as coordenadas do ponto $i + 1$ são calculadas de acordo com a

iteração:

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= \max_{x_i-r \leq x \leq x_i+r} (I_{inner} - I_{outer}) \\ y_{i+1} &= y_i + h \end{aligned} \quad (4)$$

onde, h corresponde ao incremento vertical, e r ao raio de procura horizontal.

B. Método da Probabilidade

Segundo Jain, et al. [1], também neste método, a extracção dos contornos do dente é constituída por duas fases, a detecção da coroa e a detecção da raiz. Observando as as radiografias dentárias, verifica-se que a região da imagem que contém a coroa é constituída por dois tipos de pixels, os pixels do dente, w_t e os pixels do fundo da imagem, w_b . Denotando a intensidade dos pixels por I , é, para este método, importante obter uma estimativa credível da função densidade de probabilidade, $p(I)$. Segundo o autor, a estimativa pode ser efectuada por um de dois métodos. O método das janelas de Parzen [8] ou o método da mistura dos dois componentes. Usando o método da mistura dos dois componentes, pode-se descrever a função densidade de probabilidade através da seguinte expressão:

$$p(I) = p(I|w_b)P(w_b) + p(I|w_t)P(w_t) \quad (5)$$

onde $p(I|w_b)$ é a probabilidade de I condicionada pela distribuição de pixels de fundo w_b e $p(I|w_t)$ é a probabilidade de I condicionada pela distribuição de pixels representando os dentes. Na fig. 3, está representado o gráfico de $p(I)$ para uma dada imagem ou região de interesse. Analisando um conjunto representativo de imagens, verificou-se que os pixels do fundo são, naturalmente, os que têm os valores de intensidade mais baixos. Admitindo modelos probabilísticos gaussianos, pode assumir-se que $p(I|w_b)$ corresponde ao primeiro componente do gráfico de $p(I)$. Determinando o primeiro componente, o segundo fica automaticamente determinado.

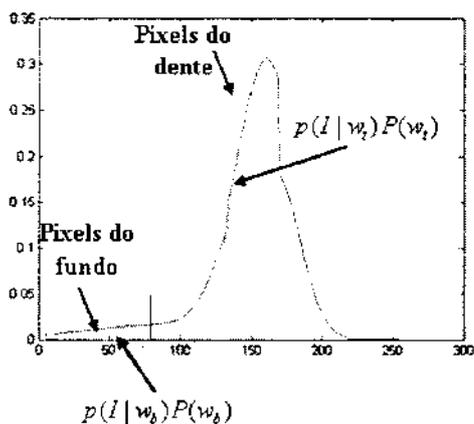


Figura 3 - Estimativa da função densidade de probabilidade das intensidades dos pixels, $p(I)$.

De acordo com a regra de Bayes [9], a probabilidade posterior do pixel de intensidade I , se sabendo que se trata dum pixel do fundo da imagem, é dada pela seguinte expressão:

$$p(w_b|I) = \frac{p(I|w_b)P(w_b)}{p(I)} \quad (6)$$

Identificando $p(I|w_b)P(w_b)$ e $p(I)$, determina-se facilmente $p(w_b|I)$. Como numa imagem do dente só existem duas classes de pixels, $p(w_t|I)$ pode determinar-se por $p(w_t|I) = 1 - p(w_b|I)$. O conhecimento das probabilidades das distribuição dos pixels, permite detectar todos os pontos do contorno da coroa, usando o seguinte algoritmo:

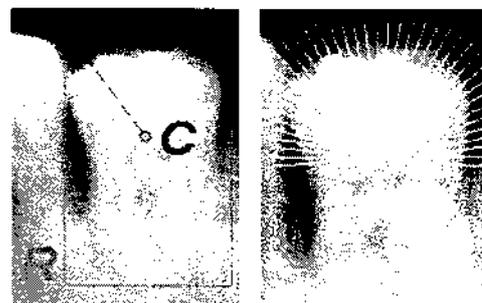
- Partindo do centro da coroa, efectua-se um varrimento radial para $0 \leq \theta \leq \pi$ com incremento $\Delta\theta$ (que determina o grau de precisão da detecção). Ver Fig. 4 (b);
- Para cada ponto P de cada linha radial, define-se P_{inner} e P_{outer} , como os pontos da vizinhança de P . Na Fig. 4 (c) está esquematizada a posição relativa destes pontos da vizinhança
- A probabilidade que o ponto P tem de ser um ponto do contorno é definida por:

$$p(E) = p(w_b|I_{outer})p(w_t|I_{inner}) \quad (7)$$

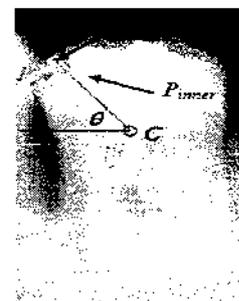
onde, I_{inner} e I_{outer} são as intensidades de P_{inner} e P_{outer} , respectivamente.

- O ponto onde a probabilidade $p(E)$ for máxima corresponde ao ponto do contorno
- O processo repete-se para todas as linhas radiais, de forma a determinar todos os pontos do contorno

O contorno da raiz é determinado através do algoritmo usado para detectar a raiz no método do Gradiente.



(a) Inicialização do Sistema (b) Varrimento radial



(c) Definição de Vizinhança do ponto P

Figura 4 - Método da probabilidade: inicialização

C. Modelos Deformáveis (Snakes)

Os métodos de segmentação que se baseiam me modelos deformáveis são numerosos e são muitas vezes ajustados para uma particular tarefa. No nosso caso optou-se por recorrer ao método clássico equipado por uma força

externa associada ao vector de fluxo do gradiente. Este método, descrito por Xu et al. [5]-[7], é usado para detectar o contorno do dente na sua totalidade. Como referido anteriormente, as radiografias dentárias não apresentam uma definição óptima. Assim, os dentes nelas representados apresentam várias alterações na sua morfologia, o que torna difícil o desenvolvimento de um sistema de segmentação totalmente automático. De modo a facilitar o processo de extracção dos contornos do dente, é necessário que o utilizador marque aproximadamente o centro da coroa, C , assim como, a forma do contorno a determinar. Partindo desta inicialização, o sistema detecta automaticamente os contornos do dente assinalado. Na fig. 5 está ilustrado um exemplo da inicialização deste método.

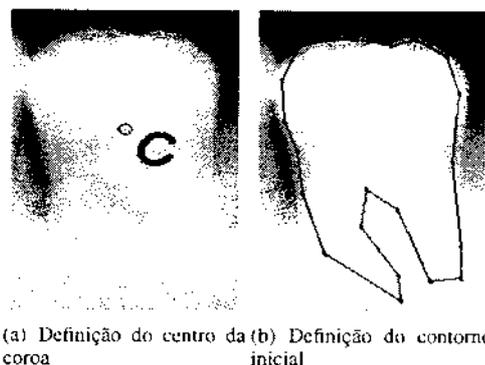


Figura 5 - Método dos modelos deformáveis: inicialização

O valor do vector de fluxo do gradiente $g(x, y) = [u(x, y), v(x, y)]$ é aquele que minimiza a função da energia da imagem expressa pela equação

$$\varepsilon = \iint \mu \cdot (u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) + |\nabla E|^2 |g - \nabla E|^2 dx dy \quad (8)$$

onde, ∇E é o vector gradiente normal às arestas detectadas; $u_x = \partial u / \partial x$, $u_y = \partial u / \partial y$, $v_x = \partial v / \partial x$, $v_y = \partial v / \partial y$; e μ é um parâmetro de regularização que sustenta a relação entre o termo em x e o termo em y . Esta constante depende da quantidade de ruído presente na imagem, deve assumir valores elevados para imagens com muito ruído, e valores baixos para imagens normais com menos ruído. Neste estudo usou-se $\mu = 0.1$.

Segundo Kass et al. [10], um contorno X é definido por $X(s) = [x(s), y(s)]$ com $s \in [0, 1]$ e a função da energia num ponto $X(s)$ é dada por

$$E = \int_0^1 \frac{1}{2} \left[\alpha |X'(s)|^2 + \beta |X''(s)|^2 \right] + E_{ext}(X(s)) ds \quad (9)$$

onde, α representa a elasticidade ou tensão; β representa a rigidez; e X' , X'' representam a 1ª e 2ª derivadas de $X(s)$, respectivamente. A energia externa E_{ext} é obtida a partir da imagem, tomando valores pequenos nas zonas dos contornos dos objecto. A curva dos Snakes que minimiza E , tem de satisfazer a equação de Euler:

$$\alpha X'(s) - \beta X''(s) - \nabla E_{ext} = 0 \quad (10)$$

que, por sua vez, pode ser traduzida numa equação de equilíbrio de forças

$$F_{int} + F_{ext}^{(p)} = 0 \quad (11)$$

Em cada nova iteração, a curva dos Snakes é actualizada de modo a equilibrar as forças tendo em conta as características do meio (rigidez, elasticidade e força da imagem), contempladas por Xu, et al. [5]-[7]. A rigidez associa-se ao parâmetro α , e é responsável por impedir que o contorno curve em demasia (valores elevados fazem com que o contorno fique menos maleável). O valor usado no nosso trabalho foi 0. A Elasticidade associa-se ao parâmetro β , e é responsável por impedir que o contorno se alongue em demasia. O valor usado no nosso trabalho foi 0.05. A força Externa, é a força a que o contorno está sujeito por acção das características da imagem com destaque neste caso para o fluxo do vector gradiente. É também usual associar um parâmetro de controlo κ a esta força que no nosso caso foi 0.6. Usando este método, os contornos do dente são determinados como um todo exigindo pois um processamento posterior para separar o contorno nas suas partes constituintes, a coroa e a raiz. A exigência desta separação tem a ver com a necessidade de determinar a relação entre a coroa e a raiz, conforme adiante se verá.

III. INICIALIZAÇÃO DO SISTEMA

Dependendo do método escolhido para a extracção dos contornos do dente, é necessário efectuar uma inicialização ao sistema. Inicialmente é necessário indicar o lado do dente, isto é, indicar se o dente pertence ao maxilar superior ou ao maxilar inferior. Depois pode-se optar por um de três modos de inicialização, o modo manual, o modo semi-automático ou o modo automático. Nos itens que se seguem estão descritos de forma sucinta os dados que é necessário introduzir em cada um dos modos, para cada método. Saliente-se que o processo de inicialização é idêntico para os métodos do gradiente e da probabilidade, diferindo ligeiramente no método dos modelos deformáveis.

A. Modo Manual

Nos métodos do gradiente e da probabilidade, a inicialização consiste em marcar o centro da coroa, marcar um rectângulo em torno do dente e marcar um raio de procura usado para o varrimento angular, no processo de detecção dos pontos do contorno da coroa. Assim, inicializar manualmente o sistema consiste em introduzir, de forma manual, todos os dados necessários (o centro da coroa, o rectângulo, e o raio). Nas figs. 1, 2, 4 representa-se a informação necessária ao modo manual de inicialização nos métodos do Gradiente e da Probabilidade. Nos modelos deformáveis a inicialização consiste em marcar o centro da coroa e vários pontos que representem, de forma grosseira, o contorno do dente conforme se demonstra na figura 5.

B. Modo Semi-automático

Neste modo de inicialização, são carregados sobre a imagem os dados usados na última inicialização, bastando ape-

nas ajustar a posição desses dados à imagem actual. Assim, este modo de inicialização permite economizar tempo e trabalho na inicialização. Na fig. 6 está representada uma inicialização semi-automática para os métodos do Gradiente e da Probabilidade

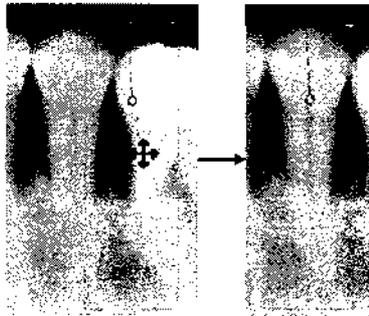


Figura 6 - Inicialização semi-automática nos métodos do Gradiente e da Probabilidade.

Na fig. 7 está representada uma inicialização semi-automática para os Modelos Deformáveis

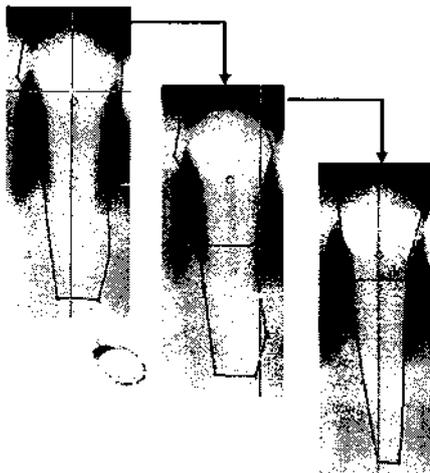


Figura 7 - Inicialização semi-automática nos Modelos Deformáveis.

C. Modo Automático

Interessa salientar que o modo automático de inicialização só pode ser usado para os métodos do Gradiente e da Probabilidade, uma vez que devido à natureza das imagens ainda não foi possível desenvolver um algoritmo capaz de permitir a inicialização automática para os Modelos Deformáveis. O modo automático é baseado no algoritmo descrito por Jain et al. [1]. Este algoritmo pode ser dividido em duas fases de execução: A detecção da zona que separa os dentes do maxilar de cima dos dentes do maxilar de baixo, e a separação dos vários dentes representados na imagem. Uma das técnicas mais eficazes, para determinar a zona de separação entre os dentes de cima e os de baixo, usa a projecção do histograma da imagem no eixo dos Y. Atendendo às características de uma radiografia dentária, a zona de separação entre os dentes de cima e os de baixo, deverá estar situada num nível onde a projecção do histograma sobre o eixo dos Y possui um mínimo. Este mínimo justifica-se pelo elevado número de pixels de fundo, nessa zona de

transição, e que possuem uma intensidade menor que a intensidade dos pixels do dente. Note-se no entanto, que existirão mais mínimos em toda a projecção do histograma, daí que seja necessária uma estimativa da posição da zona de separação. Esta estimativa será usada num cálculo probabilístico que validará o mínimo desejado, e que corresponde à zona de transição que se pretende determinar. Segue-se uma breve descrição do algoritmo usado na determinação da zona de transição.

- O utilizador tem de indicar a posição estimada para a zona de separação;
- Divide-se a imagem num determinado número de tiras verticais;
- Para cada tira da imagem são realizadas as seguintes operações:
 - Determina-se o somatório da intensidade dos pixels, das colunas da tira, em cada linha da imagem. (Projecção do histograma no eixo dos Y's). Ver Fig. 8);
 - Guarda-se todos os mínimos da tira;
 - Determina-se a probabilidade de cada mínimo. A probabilidade de cada mínimo é determinada pela seguinte expressão:

$$p_{vi}(D_i, y_i) = p_{vi}(D_i) p_{vi}(y_i) \quad (12)$$

onde

$$p_{vi}(D_i) = c \left(1 - \frac{D_i}{\max_k D_k} \right) \quad (13)$$

$$p_{vi}(y_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(y_i - y)^2}{\sigma^2}} \quad (14)$$

D_i corresponde ao valor do mínimo local, e $\max_k D_k$ corresponde ao valor máximo da intensidade integrada.

- O ponto onde a probabilidade for máxima corresponde ao nível da zona de separação nessa tira da imagem;
- Para finalizar o processo unem-se os níveis da zona de transição de cada tira da imagem, desenhando a zona que separa os dentes de baixo dos de cima; Ver fig. 8;

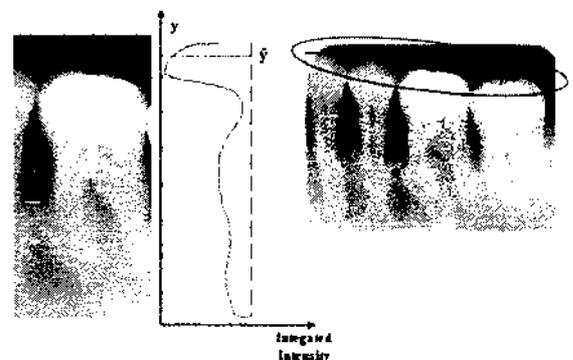


Figura 8 - Projecção do histograma numa de uma das tiras da imagem e consequente zona de separação detectada.

O método usado para separar os vários dentes da imagem é análogo ao método usado para separar os dentes de baixo

dos dentes de cima. Partindo da linha de separação encontrada, vão ser determinadas rectas perpendiculares a essa linha. Posteriormente, determina-se a intensidade integrada ao longo de cada uma dessas rectas. Fazendo uma análise global à intensidade integrada de todas as rectas, verifica-se a existência de vários mínimos locais. Cada um desses mínimos corresponde à recta de separação entre dentes. Ver fig. 9;



Figura 9 - Resultado da separação dos dentes.

Por vezes, os pontos do contorno da coroa podem assumir posições indesejadas. Estas situações podem ocorrer devido a vários factores, tais como: uma má inicialização, o ruído existente na imagem, entre outros de menor importância. De modo a tornar o sistema mais rigoroso e eficiente, implementámos um algoritmo que corrige as posições indesejadas. O algoritmo implementado pode ser descrito da seguinte forma:

- Enquanto existirem alterações a efectuar ou o número máximo de ajustes permitidos não for atingido:
 - Faz a estimativa da posição de cada ponto do contorno da coroa (Posição média entre o ponto imediatamente anterior e o ponto imediatamente posterior ao ponto);
 - Se a distância entre a posição real do ponto e a posição estimada exceder um determinado valor a posição desse ponto é substituída pela posição estimada e o sistema recomeça desde início a análise aos pontos do contorno. Caso contrário avança para o ponto seguinte.

O algoritmo também pode ser descrito através do fluxograma que está ilustrado na fig 10

Na fig 11 está ilustrado o resultado da validação dos pontos da coroa para um determinado dente.

IV. DETECÇÃO DO NÍVEL DA GENGIVA

As características morfológicas do dente que se pretendiam analisar exigia que se determinasse o nível da gengiva. Assim, depois de se ter detectado os contornos do dente desenvolveu-se um algoritmo com a função de detectar o nível da gengiva em cada um dos lados do dente (esquerdo ou direito). O algoritmo usado é semelhante ao que serviu para determinar o contorno da raiz nos métodos do Gradiente e da Probabilidade. Este algoritmo pode ser descrito pelos seguintes pontos:

- Desloca-se a parte esquerda e direita da raiz poucos pixels (3, 4, 5, 6 dependendo das imagens) para a esquerda e para a direita respectivamente, de modo a assegurar que o varrimento do contorno da raiz é feito

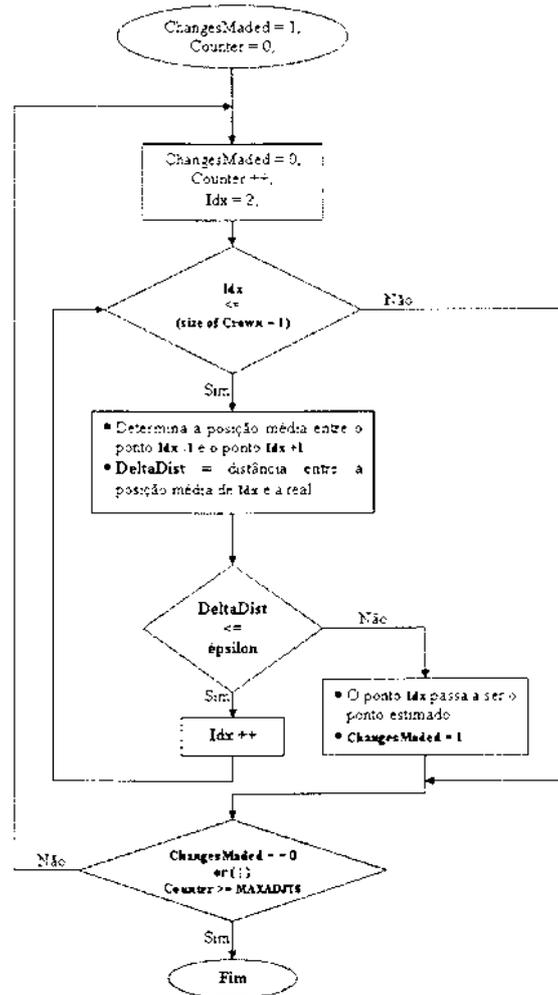


Figura 10 - Diagrama de fluxo do algoritmo de validação dos contornos da coroa.

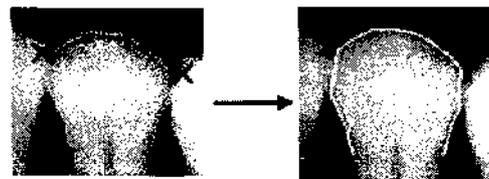


Figura 11 - Resultado do ajuste dos pontos da coroa.

fora do dente mas que não interfira com os dentes vizinhos;

- Percorre-se a cada lado da raiz desde a fronteira com a coroa até à sua extremidade, analisando a vizinhança de cada ponto da raiz. O ponto onde a diferença entre I_{Gum} e I_{Outer} for máxima corresponde ao nível da gengiva, (Ver fig. 12). I_{Gum} é a intensidade média dos pixels de uma pequena região da parte interna da gengiva. I_{Outer} é a intensidade média dos pixels de uma pequena região da parte externa da gengiva.

O nível da gengiva pode ser expresso pela seguinte expressão:

$$GumLevel = \max_{y_i - r \leq y \leq y_i + r} (I_{Gum} - I_{Outer}) \quad (15)$$

onde r representa o raio da vizinhança.

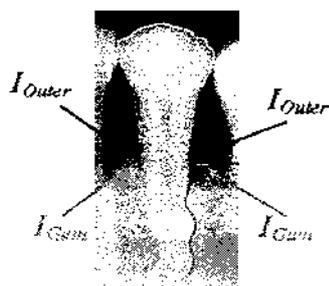
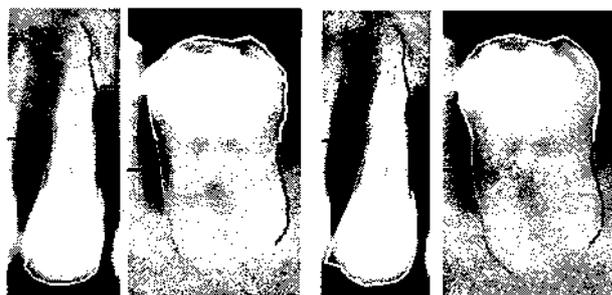


Figura 12 - Esquemática das propriedades I_{Gum} e I_{Outer} .

V. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os métodos de detecção dos contornos foram testados e avaliados numa série de imagens provenientes de radiografias dentárias. O objectivo principal da extração dos contornos é tornar possível a realização de um estudo das características morfológicas dos dentes, de modo a que possam ser avaliadas e detectadas eventuais patologias. Avaliando o desempenho do sistema nos vários métodos implementados, verifica-se que os resultados obtidos são bastante semelhantes entre eles, detectando com sucesso os contornos do dente. Na fig. 13 podem ser comparados os resultados de cada método para um conjunto de 2 dentes.



(a) Resultado do método do Gradiente (b) Resultado do método das Probabilidades



(c) Resultado dos Modelos Deformáveis;

Figura 13 - Resultados da segmentação

No que diz respeito ao tempo dispendido por cada um dos métodos, verifica-se que, o método do Gradiente e o método dos Modelos Deformáveis necessitam em média entre 15 a 17 segundos para identificar o contorno de cada dente. O método da Probabilidade é muito mais rápido, necessitando de menos de 5 segundos para detectar o mesmo contorno. A detecção dos contornos dos dentes serviu para determinar as suas propriedades mais importantes. Criou-se uma janela de informação, onde para além de estar presente uma

ampliação do dente segmentado e dos seus contornos, estão também os seguintes parâmetros:

- A razão (em %) entre a altura da coroa e a altura da raiz;
- A razão (em %) entre a altura da parte da raiz descoberta da gengiva e altura da raiz completa;
- A razão (em %) entre a altura da parte da raiz descoberta da gengiva e altura da parte da raiz coberta pela gengiva

Como a raiz do dente pode estar mais descoberta de um lado do que do outro, foram calculadas as razões para os dois lados do dente. Além disso, para cada uma das razões, foi calculada a média entre os dois lados do dente. Na figura 14 está representado um exemplo da janela de informação para um determinado dente.

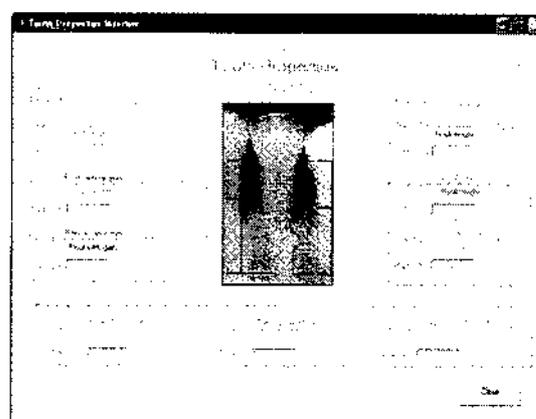


Figura 14 - Janela de visualização das propriedades do dente

VI. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

A título conclusivo, pode-se afirmar que é possível determinar os contornos de qualquer dente, em qualquer imagem proveniente de uma radiografia dentária, através de vários métodos. É legítimo afirmar que, partindo dos contornos detectados, é possível determinar várias características morfológicas do dente de modo a poder avaliar o estado de evolução de várias patologias do foro estomatológico. Depois de analisados os métodos implementados, verifica-se que todos apresentam bons resultados, fazendo com que o sistema desenvolvido corresponda às expectativas impostas no início do projecto. Futuramente este sistema pode ser integrado num software que possa ser usado no auxílio aos diagnósticos efectuados a partir de radiografias dentárias. Seria de toda a pertinência desenvolver uma base de dados de pacientes e respectiva interface, de modo a possibilitar o armazenamento das imagens e respectivos resultados obtidos da sua análise.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Unidade de Investigação 127/94 IEETA da Universidade de Aveiro, o financiamento do projecto. Agradece-se ao Dr. Bruno G. Loos (Academic Center for Dentistry in Amsterdam) pelo disponibilidade das radiografias dentárias.

REFERÊNCIAS

- [1] Anil K. Jain e Hong Chen. "Matching of dental x-ray images for human identification", *Pattern Recognition*, vol. 37, pp. 1519-1532. 2003.
- [2] Anil K. Jain, Hong Chen, e Silviu Minut, "Dental biometrics: Human identification using dental radiographs", em *Proc. of 4th Int'l Conf. on Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication (AVBPA)*, Guildford, UK, 2003, pp. 429 - 437.
- [3] Hong Chen e Anil K. Jain. "Tooth contour extraction for matching dental radiographs", em *Proc. ICPR 2004*, Cambridge, UK, 2004, vol. III, pp. 522 - 525.
- [4] H. Park, T. Schoepflin, e Y. Kim, "Active contour model with gradient directional information: Directional snake.", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 11(2), pp. 252 - 256, 2001.
- [5] C. Xu e J. L. Prince, "Gradient vector flow: A new external force for snakes", em *Proc. IEEE Conf. on Comp. Vis. Patt. Recog. (CVPR)*, Los Alamitos: Comp. Soc. Press, Ed., 1997, pp. 66 - 71.
- [6] C. Xu e J. L. Prince, "Snakes, shapes, and gradient vector flow", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 7(3), pp. 359 - 369, 1998.
- [7] C. Xu e J. L. Prince, "Gradient vector flow deformable models", em *Handbook of Medical Imaging*, Isaac Bankman, Ed. Academic Press, 2000.
- [8] R. O. Duda, P. E. Hart, e D. G. Stork. "Pattern classification, 2nd edition", em *Pattern Classification*, Wiley Interscience, Ed., pp. 164 - 174. New York, 2nd edition edição, 2001, Chapter 10.
- [9] "An introduction to bayes rule", Relatório técnico, <http://www.cim.mcgill.ca/friggi/bayes/bayesrule/>, 2004.
- [10] M. Kass, A. Witkin, e D. Terzopoulos, "Snakes: Active contour models", *Int. Journal of Computer Vision*, vol. 1, pp. 321 - 331, 1987.