

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

**SISTEMA DE VISÃO PARA APOIO À AVALIAÇÃO DA OBSTRUÇÃO  
DA OROFARINGE EM CRIANÇAS**

Por:

Pedro Miguel Vieira Guiomar da Rocha

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade Nova de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor José Manuel Fonseca

**Lisboa**

**2009**



Dedico aos meus entes mais queridos (aos meus pais, à minha irmã e à Rita) que me deram ânimo e força em todos os momentos e suportaram toda a minha ausência durante a concretização deste projecto de dissertação.



---

## RESUMO

---

A amigdalite representa uma infecção das amígdalas palatinas provocada por microrganismos de origem viral ou bacteriana. Ocorre com maior frequência na infância, registando-se um maior índice de incidência em crianças até aos nove anos de idade. Perante a evolução da infecção, poderá registar-se a ocorrência de abscessos periamigdalinos, cuja ausência de adequado tratamento poderá incorrer numa perturbação da estabilidade vital do doente. Nesta dissertação é proposta uma metodologia que visa auxiliar a congregação especialista na avaliação do grau de obstrução da orofaringe. A metodologia proposta recorre à utilização de modelos de contornos activos, tendo em conta o seu relevante contributo na detecção de contornos de objectos. Contudo, problemas relacionados com posições de inicialização e uma deficiente convergência a zonas de elevada concavidade têm limitado a sua aplicabilidade. Deste modo, esta dissertação inclui uma nova abordagem à configuração básica do modelo permitindo uma relevante contribuição para a atenuação de ambas as condicionantes supra mencionadas.

A nova arquitectura do respectivo modelo representa uma alteração à usual configuração da energia interna, incorporando também uma renovada formulação da energia externa. As alterações aplicadas à formulação convencional permitem testemunhar a elevada capacidade do modelo apresentado relativamente à sua adaptabilidade a um determinado contorno constituinte do processo de análise. Assim, o modelo apresentado e respectiva metodologia de implementação visam comprovar o seu préstimo na determinação e identificação dos contornos presentes em imagens de motivos relativos à orofaringe humana, onde se exibem contornos de considerável irregularidade, encontrando-se estes inseridos em regiões de fraco contraste.

Sob o intuito de demonstrar a validade da idealização efectuada, exhibe-se a interface da aplicação desenvolvida, bem como um conjunto de resultados obtidos aquando da experimentação efectuada.

---

## PALAVRAS - CHAVE

Processamento de imagem, Detecção de Contornos, Contornos Activos, *Snakes*, Curvas *Bezier*, *Splines*, Forças de Expansão, Orofaringe Humana, Amigdalite.



---

## ABSTRACT

---

Tonsillitis is an infection of the tonsils that can be caused by either a virus or bacteria. Being a common childhood ailment, children below nine years of age are most likely to become affected by tonsillitis. Abscess can occur during the infection period, whose absence of adapted treatment can provoke serious risks to patient wellness. In this thesis a methodology to help and assist medical community in human oropharynx obstruction assessment is proposed. This methodology is supported by active contours models, due to their performance in edge detection issues. However, problems associated with initialization and poor convergence to highly boundary concavities, have limited their utility. Therefore, this dissertation includes a new model configuration approach capable to reduce the presented limitations.

The new model architecture represents an alteration to the traditional internal energy configuration, incorporating a renewed external energy formulation as well. All the changes applied to the conventional formulation allow testifying the superior capacity of the new model to respond accurately to any form of a boundary concavity. Therefore, the presented model and respective implementation methodology aims to prove their contribution in edge determination and identification related work, when dealing with medical images, namely human oropharynx, where highly concavities are present within weak contrast regions.

It is presented not only the graphical user interface, with the purpose of demonstrating the validity of the ideas presented, but also a set of results obtained from the experiments done.

---

## KEYWORDS

---

Image Processing, Edge Detection, Active Contours, *Snakes*, *Bezier* Curves, *Splines*, Inflation Forces, Human Oropharynx, *Tonsillitis*.



---

## AGRADECIMENTOS

---

Entendo que as palavras não representam a forma mais justa de reconhecer todo o auxílio prestado por todos os intervenientes deste capítulo da minha vida, a concretização da minha formação académica. Porém, disponho apenas de este recurso para aqui expressar todo o meu profundo e sincero agradecimento a todos vós, os que o sentem.

Começaria por anunciar a minha enorme satisfação por me encontrar neste momento a redigir este capítulo. Trata-se do processo último de todas as etapas que constituíram a concepção desta dissertação. É para mim um motivo de particular orgulho este tomar de consciência que me permite perceber o término desta longa jornada.

Aos meus queridos familiares, pai, mãe e irmã, que representam a base de sustentação do meu Ser, que definem tão somente a minha vontade de viver, que sem a sua especial contribuição, compreensão e tolerância jamais teria alcançado o patamar em que me encontro. A companhia que nos foi privada, os momentos que não me foi possível partilhar, por tudo isso o meu especial Obrigado!

A ti Rita, o pilar das minhas emoções, a parte constituinte da minha felicidade. Por todo o período de ausência, por toda a compreensão, por todo o esforço e dedicação, para ti o meu sentido e também especial Obrigado!

Ao Professor Doutor José Manuel Fonseca, que permitiu a concretização da tese em análise. Que demonstrou toda a competência e capacidade em conduzir as minhas ideias no sentido do sucesso. Por quem eu tenho especial admiração, pela sua dedicação ao ensino, pela excelente relação que tem com os alunos, por ser quem é e como é, a si professor, muito obrigado por tudo.

No fundo, a todos vós, o meu puro sentimento de agradecimento!

Lisboa, 25 de Julho de 2009

*Pedro Miguel Vieira Guiomar da Rocha*



---

## ACRÓNIMOS

---

<b>CAD</b>	Computer Aided Design
<b>GB</b>	Gigabyte
<b>GUI</b>	Graphical User Interface
<b>MHz</b>	Megahertz
<b>MDI</b>	Multiple Document Interface
<b>RAM</b>	Random Access Memory
<b>RGB</b>	Sistema Aditivo de Cores
<b>SVA<sup>2</sup>O<sup>2</sup>C</b>	Sistema de Visão para Apoio à Avaliação da Orofaringe em Crianças



---

## ÍNDICE DE MATÉRIAS

---

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Introdução .....	1
1.2. Enquadramento .....	2
1.3. Hipótese .....	3
1.4. Objectivos e Contribuições .....	4
1.5. Estrutura da Dissertação .....	4
CAPÍTULO 2. TRABALHO RELACIONADO .....	7
2.1. Modelos Deformáveis .....	7
2.1.1. Prelúdio .....	8
2.1.2. Exposição Teórica .....	9
2.1.3. Estado da Arte .....	14
2.1.4. Aplicações .....	16
2.1.5. Projectos .....	19
2.1.6. Discussão .....	20
2.2. Curvas de <i>Bézier</i> .....	21
2.2.1. Prelúdio .....	22
2.2.2. Exposição Teórica .....	22
2.2.3. Aplicações .....	26
2.2.4. Discussão .....	27
2.3. Anatomia da Faringe .....	28
2.3.1. Aparelho Respiratório .....	28
2.3.2. Faringe .....	30
2.3.3. Obstrução da Orofaringe .....	33
2.3.3.1. Causa .....	33
2.3.3.2. Efeito .....	34
CAPÍTULO 3. ARQUITECTURA DO SISTEMA .....	37
3.1. Prelúdio .....	37
3.2. Reformulação .....	39
3.2.1. Energia Interna .....	40

3.2.2.	Energia Externa.....	40
3.2.2.1.	Energia Potencial.....	41
3.2.2.1.1.	Força de Expansão.....	45
3.2.2.1.2.	Força de Contração.....	47
3.3	Metodologia.....	48
3.3.1.	Pré – Processamento.....	49
3.3.1.1.	Realce de Contornos.....	50
3.3.1.2.	Binarização Ponderada.....	53
3.3.1.3.	Equalização do Histograma.....	56
3.3.1.4.	Sobreposição de <i>Bitmaps</i> .....	60
3.3.1.5.	Supressão de Ruído.....	63
3.3.1.6.	Mapa Potencial.....	70
3.3.2.	Demarcação.....	71
3.3.2.1.	<i>Span Mode</i> .....	71
3.3.3.	Concepção do Modelo.....	76
3.3.3.1.	<i>Manual Mode</i> .....	76
3.3.3.2.	<i>Automatic Mode</i> .....	78
3.3.4.	Dinâmica.....	81
3.3.4.1.	Reconhecimento.....	82
3.3.4.2.	Traçado de Rotas.....	84
3.3.4.3.	Deslocação.....	86
3.3.5.	Reconfigurabilidade.....	94
3.4	Discussão.....	95
CAPÍTULO 4. ANÁLISE DO DESEMPENHO.....		97
4.1	Pontos em Análise.....	97
4.1.1	Tempo de Convergência.....	98
4.1.2	Capacidade de Reconhecimento.....	100
4.2	Modelos de Comparação.....	102
4.3	Ambiente Gráfico – SVA <sup>2</sup> O <sup>2</sup> C.....	103
4.4	Resultados.....	107
4.4.1	Aplicabilidade Geral.....	108
4.4.2	Aplicabilidade Específica.....	117
4.5	Demonstração Aplicacional.....	122

4.6	Discussão.....	124
CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES .....		127
5.1	Síntese Geral.....	127
5.2	Validação da Hipótese.....	128
5.3	Conclusões.....	129
5.4	Perspectivas de Trabalho Futuro .....	130
BIBLIOGRAFIA.....		131
ANEXO A. POLINÓMIO DE <i>BERNSTEIN</i> .....		135
ANEXO B. MANUAL DA APLICAÇÃO .....		141
ANEXO C. EQUALIZAÇÃO DE HISTOGRAMA .....		167



---

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 2.1 - Segmentação de um fémur com base numa ressonância magnética. [Billings 2009] .....	17
Figura 2.2 - Detecção de expressões faciais através de modelos deformáveis. [Blake 1998] .....	18
Figura 2.3 – Captura da movimentação corporal através de modelos deformáveis. [Blake 1998] .....	18
Figura 2.4 – Aplicação de modelos deformáveis na reconstrução da superfície do cortex cerebral [Xu 1999a] .....	19
Figura 2.5 – Representação de uma curva de <i>Bézier</i> cúbica .....	23
Figura 2.6 – Exemplo de aplicação das curvas de <i>Bézier</i> . .....	27
Figura 2.7 - Constituição do Sistema Respiratório. [Educação 2009] .....	29
Figura 2.8 – Representação das secções da faringe. [Fau 2009].....	30
Figura 2.9 – Visualização anatómica da faringe. [OncologyChannel 2009] .....	31
Figura 2.10 – Infecção das amígdalas palatinas.....	35
Figura 3.1 – Algoritmo de concepção do campo potencial, <i>PotentialCreator</i> . .....	42
Figura 3.2 – Representação do campo potencial.....	43
Figura 3.3 – Imagem original.....	43
Figura 3.4 – Aplicação do método de <i>Sobel</i> . .....	43
Figura 3.5 – Imagem binarizada.....	44
Figura 3.6 – Representação do campo potencial.....	44
Figura 3.7 – Mapa de intensidades do campo potencial .....	44
Figura 3.8 – Resultado da força de expansão.....	46
Figura 3.9 – Resultado da força de contracção. ....	47
Figura 3.10 – Arquitectura da fase de pré-processamento.....	48
Figura 3.11 – Máscaras de captação segundo a direcção horizontal e vertical.....	50
Figura 3.12 – Matriz de correspondência.....	50
Figura 3.13 – Exemplificação do algoritmo de <i>Sobel</i> .....	51
Figura 3.14 – Resultado da aplicação do método de <i>Sobel</i> .....	52
Figura 3.15 – Histograma associado ao conteúdo de informação.....	53
Figura 3.16 – Aplicação do processo de binarização.....	55

Figura 3.17 – Histograma de Intensidade.....	57
Figura 3.18 – Histograma de Intensidade da imagem equalizada.....	59
Figura 3.19 – Comparação entre o método de <i>Sobel</i> e a equalização de histograma.....	60
Figura 3.20 – Arquitectura do algoritmo <i>addInfo</i> .....	62
Figura 3.21 – Resultado da aplicação do algoritmo <i>addInfo</i> .....	63
Figura 3.22 – Arquitectura do algoritmo <i>noiseFilter</i> .....	66
Figura 3.23 – Resultado da aplicação do algoritmo <i>noiseFilter</i> .....	67
Figura 3.24 – Resultado da aplicação do método de remoção de <i>Ilhas</i> .....	69
Figura 3.25 – Demonstração do mapa da energia potencial.....	70
Figura 3.26 – Estrutura da curva de <i>Bézier</i> .....	72
Figura 3.27 – Reconfiguração da curva de <i>Bézier</i> .....	73
Figura 3.28 – Aplicação de curvas de <i>Bézier</i> .....	74
Figura 3.29 – Aplicação do método de adição artificial de contraste.....	75
Figura 3.30 – Posicionamento pelo método <i>manualMode</i> .....	77
Figura 3.31 – Representação conceptual do efeito dos <i>attractionPoints</i> .....	79
Figura 3.32 – Demonstração da influência dos pontos de atracção.....	80
Figura 3.33 – Estrutura do processo dinâmico.....	71
Figura 3.34 – Fluxograma do algoritmo <i>Recogn</i> .....	83
Figura 3.35 – Representação das rectas normais.....	85
Figura 3.36 – Representação da estrutura do processo dinâmico.....	87
Figura 3.37 – Representação da evolução do modelo.....	89
Figura 3.38 – Identificação das regiões equipotenciais.....	90
Figura 3.39 – Arquitectura do algoritmo <i>Seek</i> .....	92
Figura 4.1 – Representação do tempo de convergência do modelo.....	99
Figura 4.2 – Representação de capacidades de reconhecimento díspares.....	101
Figura 4.3 – Interface da aplicação desenvolvida.....	104
Figura 4.4 – Funcionalidades disponíveis através da interface gráfica.....	105
Figura 4.5 – Interface gráfica da aplicação durante a fase de demarcação.....	106
Figura 4.6 – Conjunto de imagens usadas no teste de nível 1.....	108
Figura 4.7 – Resultados obtidos no teste de convergência de nível 1.....	109
Figura 4.8 – Resultados obtidos no teste de reconhecimento de nível 1.....	110
Figura 4.9 – Conjunto de imagens usadas no teste de nível 2.....	112
Figura 4.10 – Resultados obtidos no teste de convergência de nível 2.....	113

Figura 4.11 – Resultados obtidos no teste de reconhecimento pelo modelo $SVA^2O^2C$ .....	114
Figura 4.12 – Resultados obtidos no teste de reconhecimento pelo modelo $A$ .....	115
Figura 4.13 – Resultados obtidos no teste de reconhecimento pelo modelo $B$ .....	116
Figura 4.14 – Conjunto de imagens seleccionadas para teste específico .....	118
Figura 4.15 – Resultados obtidos no teste de convergência na análise específica.....	119
Figura 4.16 – Resultados obtidos no teste de reconhecimento pelo modelo proposto .....	120
Figura 4.17 – Resultados obtidos no teste de reconhecimento pelo modelo $A$ .....	121
Figura 4.18 – Demarcação das regiões consideradas .....	122
Figura 4.19 – Representação da medição referente à região total .....	123
Figura 4.20 – Representação da medição referente à relação entre as regiões consideradas.	124
Figura B.1 – <i>Interface Gráfica</i> .....	141
Figura B.2 – Demonstração da opção <i>Open</i> .....	142
Figura B.3 – Selecção de um ficheiro de imagem .....	143
Figura B.4 – Ficheiro de imagem obtido .....	144
Figura B.5 – Apresentação de múltiplas imagens .....	144
Figura B.6 – Apresentação da opção de descrição cromática e posicional.....	145
Figura B.7 – Exemplificação do histograma de intensidade .....	146
Figura B.8 – Exemplificação da identificação de região .....	147
Figura B.9 – Apresentação do tamanho da região segmentada .....	148
Figura B.10 – Apresentação da relação dimensional .....	148
Figura B.11 – Opções de visualização de <i>bitmap</i> .....	149
Figura B.12 – Demonstração da visualização do mapa binário .....	150
Figura B.13 – Demonstração da visualização do mapa potencial.....	150
Figura B.14 – Demonstração do posicionamento inicial do modelo .....	151
Figura B.15 – Demonstração do posicionamento final do modelo .....	151
Figura B.16 – Apresentação das opções de visualização de detalhes .....	152
Figura B.17 – Visualização dos <i>attraction points</i> .....	153
Figura B.18 – Visualização dos <i>control points</i> .....	153
Figura B.19 – Apresentação das opções de selecção de método .....	155
Figura B.20 – Aplicação do método dos pontos de atracção .....	156
Figura B.21 – Aplicação do método de configuração directa.....	156
Figura B.22 – Identificação da funcionalidade de adição de contraste.....	157
Figura B.23 – Demonstração da aplicação de linhas de contraste .....	158

Figura B.24 – Identificação da funcionalidade de concepção do modelo .....	159
Figura B.25 – Exemplo da funcionalidade de concepção do modelo .....	160
Figura B.26 – Identificação da funcionalidade de inicialização .....	161
Figura B.27 – Identificação da funcionalidade de restauro .....	162
Figura B.28 – Identificação da funcionalidade de fecho do contorno .....	163
Figura B.29 – Identificação da funcionalidade de abertura do contorno .....	164
Figura B.30 – Identificação da funcionalidade eliminação de parâmetros .....	165
Figura C.1 – Representação utilizada no processo de equalização de histograma .....	167
Figura C.2 – Resultante gráfica do processo de equalização de histograma .....	169

---

## ÍNDICE DE TABELAS

---

Tabela C.1 – Distribuição de níveis .....	168
Tabela C.2 – Resultado da função de probabilidade acumulada .....	168
Tabela C.3 – Resultado do processo de equalização.....	169



---

## ÍNDICE DE ALGORÍTMOS

---

ALGORITMO 3.1 – Mapa da Energia Potencial.....	42
ALGORITMO 3.2 – Realce de Contornos.....	51
ALGORITMO 3.3 – Binarização.....	54
ALGORITMO 3.4 – Equalização de Histograma.....	57
ALGORITMO 3.5 – Sobreposição de <i>Bitmaps</i> .....	62
ALGORITMO 3.6 – Supressão de Ruído .....	66
ALGORITMO 3.7 – Reconhecimento .....	83
ALGORITMO 3.8 – Identificação .....	92



# CAPÍTULO 1.

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1. Introdução

Uma imagem não é mais do que um concentrado de informação. Porém, a informação pertinente nem sempre se encontra perceptível à análise visual de um ser humano. Poderá encontrar-se corrompida ou meramente inserida num conjunto de informação irrelevante, representando dessa forma um conteúdo improficuo para um determinado objectivo. Deste modo, torna-se bem patente a necessidade de desenvolvimento de métodos com a finalidade de extrair o teor essencial da imagem.

Durante as duas últimas décadas, a análise computacionalmente assistida de imagens médicas tem assumido um papel muito relevante na sua interpretação. A segmentação regista actualmente um alargado espectro de aplicabilidade médica, por exemplo na quantificação do volume de tecidos, diagnósticos, localização de patologias, estudo da estrutura humana e cirurgia assistida por computador [Xu 2000]. Assim, seria incauto afirmar que o avanço tecnológico verificado na medicina, não se deve em parte ao desenvolvimento e proliferação da tecnologia de processamento de imagem [McInerney 1996]. Actualmente, é possível extrair informação clínica de estruturas anatómicas através de diversas técnicas, desde a tomografia por emissão de positrões à ressonância magnética, apresentando um efeito nocivo colateral praticamente nulo e de forma não intrusiva.

Do mesmo modo, também a comunidade de especialistas de otorrinolaringologia pediátrica identifica as aplicações de processamento de imagem como uma ferramenta de elevada importância, registando o seu benefício tanto no suporte a investigações, como na coadjuvação a diagnósticos.

A inflamação das amígdalas produz-se, normalmente, devido a uma infecção de origem viral ou bacteriana. As amígdalas encontram-se situadas num segmento da faringe onde a via aérea conflui com a via digestiva, sendo assim comum o contacto directo entre a sua superfície e microrganismos presentes no ar ou nos alimentos, resultando numa infecção sempre que a sua quantidade for elevada ou perante situações em que a sua virulência seja superior à capacidade das mesmas.

O seu objectivo é reter e filtrar os microrganismos, sendo este alcançado pelo manto de inúmeras vilosidades microscópicas com que se encontram revestidas. No seu interior, existem inúmeros canais cuja função é drenar um líquido composto por resíduos celulares e detritos de microrganismos. O líquido drenado desloca-se, conjuntamente com a saliva, até ao tubo digestivo. Deste modo, verifica-se que as amígdalas desempenham uma função de elevada importância durante o período de infância, tendo em conta que após este período de crescimento, as suas dimensões e o seu papel na defesa orgânica decresce.

Nesta dissertação, discute-se a complexidade associada aos modelos usados na detecção e identificação de contornos de estruturas presentes em imagens. Em particular, analisa-se a aplicabilidade dos referidos modelos como ferramenta de suporte à avaliação da obstrução da orofaringe em crianças.

Esta tese inclui ainda uma análise da aplicação desenvolvida com o intuito de automatizar a referida avaliação, sendo o seu desempenho analisado e avaliado.

## **1.2. Enquadramento**

A detecção e identificação de contornos representam actualmente um processo de inestimável importância no campo da análise de imagens médicas. No passado, diversas práticas de assistência hospitalar, como a medição de estruturas anatómicas, requeriam a prévia extracção de tecidos circundantes ao respectivo órgão para posterior análise. Hoje, com o desenvolvimento dos métodos de detecção e identificação de contornos existentes, tornou-se possível não só a correcta avaliação e determinação das características anatómicas de diversos órgãos, como também a possibilidade de antecipação de diagnóstico, sendo este cada vez mais apurado. Deste modo, identificam-se como benefícios as seguintes características: diminuição dos custos de operacionalidade, possibilidade de diagnósticos de elevada precisão e com maior antecedência e uma melhoria das condições do paciente tendo em conta o registo de uma diminuição da aplicação de práticas intrusivas.

Pese embora o facto de os actuais dispositivos de captação e visualização produzirem perspectivas anatómicas de elevada qualidade gráfica, a sua análise e interpretação através de métodos computacionais continua a ser algo limitada, requerendo uma adequada intervenção humana.

Este panorama prende-se com o facto de a automatização da análise de imagens médicas constituir uma tarefa de superior complexidade, devido não somente à irregularidade das formas registadas em cada imagem, mas também pela notória ausência de contraste presente nas mesmas, nomeadamente em imagens que tencionam servir de suporte à apreciação da obstrução da orofaringe humana.

A importância deste estudo reflecte toda a sua relevância se se tiver em perspectiva que a obstrução da via respiratória devido à inflamação das amígdalas tem como resultado uma limitação do fluxo respiratório. Esta limitação tem origem no consequente bloqueio das vias aéreas, levando a inalação a ocorrer através da boca, uma vez que esta apresenta uma menor resistência à passagem do ar e permitindo uma admissão de oxigénio superior comparativamente com a restante via respiratória [Saffer 1999]. Deste modo, a ocorrência de sintomas colaterais torna-se evidente, como por exemplo, a excessiva sonolência diária, desordens respiratórias verificadas durante o sono, agressividade e consequente diminuição do período de sono.

Nesta dissertação pretende-se desenvolver uma aplicação com capacidade de assistir o especialista em otorrinolaringologia pediátrica na correcta avaliação da obstrução da orofaringe humana. Demonstra-se, através dos resultados da experimentação efectuada, a possível e pertinente reconfiguração do modelo de contornos activos convencional com o intuito de apresentar uma maior adaptabilidade aos diversos contornos presentes nas imagens de teor referido.

O sistema desenvolvido integra a capacidade para produzir uma análise automática suprimindo dessa forma a relativa inconformidade associada à subjectividade humana, ao mesmo tempo que permitirá aos especialistas a possibilidade de uma interacção intuitiva e imediata. Pretende-se assim tornar exequível a tarefa de conciliação entre o conhecimento tecnológico e a experiência profissional.

### **1.3. Hipótese**

Com base no cenário equacionado na secção 1.2, da manifesta necessidade de elaboração de um modelo baseado em contornos activos, é possível desenvolver uma metodologia suportada por modelos deformáveis reconfigurados, que posteriormente através de uma interface gráfica possibilite a detecção e identificação dos contornos

presentes em regiões de interesse específico aos especialistas de otorrinolaringologia pediátrica.

## 1.4. Objectivos e Contribuições

O principal objectivo desta dissertação é validar a hipótese apresentada na secção anterior, 1.3. Pretende-se demonstrar a aplicabilidade dos modelos deformáveis na detecção e identificação de contornos presentes em imagens onde se regista a orofaringe humana. É também objectivo desta dissertação provar que a adequada reconfiguração dos modelos existentes resulta num incremento substancial da propriedade de elasticidade e flexibilidade dos mesmos, apresentando dessa forma um benefício na adaptabilidade do modelo aos contornos detectados.

O principal contributo da presente dissertação é a definição de uma abordagem inovadora no modo como é realizada a configuração do modelo deformável convencional, permitindo um ajuste de maior rigor, aos contornos presentes na imagem em análise, visando desse modo, contribuir para a rigorosa e eficiente avaliação da obstrução da orofaringe em crianças, por parte dos especialistas em otorrinolaringologia pediátrica. O nível de obstrução passa agora a ser obtido de um modo computacionalmente assistido.

## 1.5. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos e três anexos, conforme se descreve em seguida.

O primeiro capítulo, *Introdução*, visa a apresentação da tese ao respectivo leitor. É constituído por cinco subcapítulos, os quais descrevem o teor e respectivo propósito da mesma.

O capítulo dois, *Trabalho Relacionado*, tem o intuito de apresentar uma abordagem geral sobre o estado da arte na área dos contornos activos. Expõe uma descrição relativa ao suporte matemático, isto é, à formulação usada pelo modelo convencional, pretendendo desse modo descrever os princípios básicos do mesmo. Contém igualmente uma descrição sobre o princípio de funcionamento de um dos conceitos utilizados na concepção do

modelo proposto, sendo o referido conceito denominado por curvas de *Bézier*. Por último, apresenta o conteúdo necessário à compreensão da estrutura anatómica em consideração, neste caso a orofaringe humana.

O terceiro capítulo, denominado *Arquitectura do Sistema*, permite uma completa análise relativa aos conceitos idealizados e desenvolvidos com o objectivo de conceber o modelo proposto. Descreve de modo minucioso a metodologia de cada um dos módulos criados, assinalando a pertinência de cada um deles. Conclui com uma breve discussão que serve de síntese à arquitectura do sistema desenvolvido e implementado.

No quarto capítulo, *Análise de Desempenho*, encontra-se a apresentação dos resultados obtidos em resposta aos diversos testes efectuados. Descreve cada um dos pontos em análise, definidos com a intenção de permitir uma avaliação completa e adequada relativamente às capacidades do modelo concebido e apresentado na dissertação em análise. Possui igualmente uma breve apresentação da *graphical user interface* (GUI), criada com o objectivo de permitir a aplicação dos conceitos desenvolvidos.

O quinto e último capítulo, *Conclusões*, efectua a consideração final sobre o trabalho idealizado, desenvolvido e implementado, tendo por base a hipótese previamente formulada. Apresenta uma secção onde se verifica a validade da hipótese inicialmente estabelecida. Enuncia também um conjunto de intenções consideradas como perspectivas de trabalho futuro.

No anexo A, *Polinómio de Bernestein*, encontra-se uma completa descrição sobre o desenvolvimento matemático do polinómio de *Bernestein*, o qual suporta o processo dinâmico das curvas de *Bézier*.

O anexo B, *Manual da Aplicação*, descreve a aplicação desenvolvida, apresentando uma completa descrição relativa a cada uma das funcionalidades constituintes da mesma.

No anexo C, *Equalização de Histograma*, encontra-se o procedimento que permite a obtenção da respectiva equalização, aplicado a uma determinada imagem.



## CAPÍTULO 2.

### TRABALHO RELACIONADO

---

Embora seja considerado um domínio de elevada complexidade, o processamento de imagem como assistente à análise de imagens médicas, representa actualmente uma área em manifesto desenvolvimento. Pretende-se neste capítulo, abordar os principais aspectos desenvolvidos no campo da investigação, dando particular ênfase aos modelos usados como suporte no processamento de imagem aplicado à interpretação de características singulares do foro médico. Incluirá igualmente uma abordagem elaborada de forma rigorosa e precisa sobre as características e composição anatómica da orofaringe, possibilitando deste modo, uma compreensão exacta sobre o teor da presente dissertação.

O capítulo em análise está segmentado em três secções. Na primeira secção encontra-se uma introdução aos modelos deformáveis, tema de principal destaque nesta dissertação, apresentando-se de igual modo os conceitos base responsáveis pelo sustentáculo dos mesmos, assim como uma exposição do estado de arte. Encontrar-se-á de igual modo uma análise ao espectro de aplicabilidade dos modelos, identificando-se os sectores de actividade que melhor exploram as suas vantagens. Posteriormente, na segunda secção, é feita uma abordagem completa e objectiva sobre as curvas de *Bézier*, apresentando-se também como material de singular relevo na dissertação em análise. Por último, na terceira secção, apresenta-se uma explanação abrangente referente à anatomia da orofaringe humana, bem como uma abordagem genérica sobre o funcionamento do sistema do qual se identifica como membro constituinte.

#### 2.1. Modelos Deformáveis

Os modelos deformáveis, também designados por contornos activos, representam-se por um contorno fechado constituído por propriedades dinâmicas. As referidas propriedades encontram-se definidas através de uma formulação concebida com o

objectivo de suportar todo o processo dinâmico associado ao modelo. Essa formulação permite estabelecer a respectiva condição de equilíbrio, a qual possibilitará garantir a inactividade do contorno activo.

Para a obtenção do estado de equilíbrio é necessário o conhecimento das duas grandezas intervenientes, a energia interna e a energia externa. A primeira visa o controlo das características físicas do modelo, isto é, permite controlar a elasticidade e flexibilidade registadas pelo modelo durante o processo dinâmico. A energia externa não se encontra directamente associada ao modelo, mas sim à própria imagem na qual se encontra a estrutura geométrica cujo contorno se pretende identificar através do modelo.

As subsecções que seguidamente se apresentam têm o intuito de fornecer uma completa e minuciosa descrição relativa ao método de funcionamento dos contornos activos.

### **2.1.1. Prelúdio**

A tecnologia tem assumido um papel muito importante no quotidiano das sociedades desenvolvidas, ameaçando revolucionar a forma como hoje vivem, cooperam e interagem com o seu meio envolvente. Deste modo, o que era anteriormente considerado inconcebível, é agora exequível.

Assim, a criação e o desenvolvimento das tecnologias de digitalização de imagem, tornou possível a aplicação de técnicas de automatização de processamento de imagem, as quais têm vindo a permitir um manifesto benefício no sector da medicina.

A área na qual os modelos deformáveis encontram a sua aplicabilidade designa-se por segmentação. A segmentação identifica-se pelo processo de segmentar uma determinada imagem com base numa característica previamente definida. Deste modo, permite uma modificação na representação da imagem de forma a facilitar a sua análise, no que respeita à identificação das particularidades pretendidas. Este processo assume particular interesse na localização de objectos ou contornos presentes na imagem, onde se destaca a utilidade dos modelos deformáveis, também designados por contornos activos. Porém, apesar de todo o trabalho de desenvolvimento nesta área, a complexidade computacional associada às técnicas de segmentação, nomeadamente aos modelos deformáveis continua a representar uma condicionalidade adversa. Embora se tenha registado uma notável evolução na capacidade computacional, permanecem questões cuja resolução continua a ser muito complexa, nomeadamente, no que diz respeito à remoção do ruído presente nas

imagens, bem como no melhoramento do ténue contraste verificado em determinadas imagens. Existem ainda outras questões que levam à presença da complexidade associada, como a limitada resolução disponível pelos instrumentos responsáveis pela obtenção da imagem ou ainda devido à complexidade da forma do objecto em análise, estando estas questões inseridas no contexto médico.

### 2.1.2. Exposição Teórica

De referir que uma abordagem exaustiva e minuciosa sobre modelos deformáveis não se encontra no âmbito desta dissertação, para tal remete-se ao leitor a análise do trabalho produzido por McInerney e pelo Terzopoulos [McInerney 1996]. Deste modo, apenas será apresentado e discutido o conteúdo indispensável à compreensão do teor desenvolvido na presente tese.

Existem dois tipos de modelos deformáveis discutidos na literatura, os paramétricos [Kass 1987, McInerney 1995] e os geométricos [Malladi 1995, Caselles 1995]. Os primeiros sintetizam as linhas dinâmicas explicitamente, na sua forma paramétrica dentro do domínio da imagem, os geométricos são definidos com base numa representação implícita, permitindo-lhes acompanhar uma possível alteração no contorno.

Um modelo deformável descrito parametricamente, também vulgarmente designado por *snake*, pode ser descrito como a representação de uma linha fechada definida no interior do domínio de uma imagem. Todas as suas propriedades assim como o seu comportamento, ou seja, toda a sua dinâmica, encontram-se descritos através de uma função, designada por função de energia em analogia com os sistemas físicos presentes na natureza. Uma equação diferencial permite controlar a movimentação do modelo, forçando a sua evolução de modo a reduzir a sua energia, tendo em conta que estes modelos baseiam a sua dinâmica no método da minimização de energia. O principal objectivo deste tipo de representação é encontrar a configuração exacta do modelo que minimize a função de energia, definida como a soma ponderada entre a energia interna e externa do respectivo modelo, como se descreve em 2.1.

$$E_{snake} = \int_0^1 \{E_{int}(v(s)) + E_{ext}(v(s))\} ds \quad (2.1)$$

Sendo a posição da *snake* representada parametricamente por  $v(s) = (x(s), y(s))$ . O primeiro termo,  $E_{int}$  representa a energia interna do modelo e o segundo termo,  $E_{ext}$ , representa a energia externa associada.

A energia interna é definida através da seguinte expressão, 2.2.

$$E_{int} = \frac{\alpha(s) \cdot \left| \frac{d}{ds} v(s) \right|^2 + \beta(s) \cdot \left| \frac{d^2}{ds^2} v(s) \right|^2}{2} \quad (2.2)$$

O termo correspondente à primeira derivada de  $v$  em ordem a  $s$ , representa o ritmo de alteração do tamanho do modelo, ou seja, a sua contracção longitudinal. O coeficiente associado,  $\alpha$ , permite controlar o grau de contracção e assim fazer com que a *snake* actue como um elástico, mais ou menos rígido, razão pela qual é também designado por coeficiente de elasticidade. Assumindo valores elevados possibilitará ao modelo um comportamento de maior elasticidade. O segundo termo, isto é, a segunda derivada de  $v$  em ordem a  $s$ , representa o nível de curvatura do modelo. O coeficiente associado,  $\beta$ , tem a funcionalidade de controlar a rigidez com que o modelo se movimenta e por sua vez se adapta ao contorno. Para valores elevados de  $\beta$ , o modelo registará uma elevada rigidez e dessa forma terá menos capacidade de ajuste a contornos de pronunciada irregularidade da sua forma, verificando-se assim menos flexível, razão pela qual este coeficiente é também denominado por coeficiente de flexibilidade. Deste modo, o ajuste directo de ambos os coeficientes permitirá atribuir ao modelo as características adequadas e necessárias ao melhor ajuste.

Tendo em conta que o contorno do objecto de interesse deverá ser reconhecido pelo modelo como um conjunto dos valores mínimos do mapa de contornos, a energia externa encontra-se definida pela seguinte expressão, 2.3.

$$E_{ext} = -|\nabla I(x, y)|^2 \quad (2.3)$$

Onde  $I(x, y)$ , representa a imagem sob a forma de intensidades, isto é, numa escala de cinzentos e  $\nabla$  o operador de gradiente.

Em termos conceptuais, o gradiente de uma imagem representa a forma como a intensidade associada a cada um dos *pixels* constituintes varia. Compõe-se de dois

indicadores, uma norma e uma direcção. O primeiro, indica de que modo se verifica a alteração de intensidades entre os *pixels*, assumindo valores elevados para zonas de elevado contraste, onde por analogia obterá valores reduzidos em zonas de fraco contraste. O segundo indicador, indica de forma explícita a direcção em que se regista maior variação. Em termos matemáticos, o vector de gradiente relaciona as derivadas parciais em  $x$  e  $y$ , caso seja representado num domínio bidimensional.

$$\nabla I = \left( \frac{\partial I}{\partial x}, \frac{\partial I}{\partial y} \right) \quad (2.4)$$

Cada uma das derivadas parciais representa a taxa de variação da intensidade da própria imagem em relação à sua componente derivativa, assim  $\frac{\partial I}{\partial x}$ , indicará quão relevante será a variação de intensidade da imagem de acordo com a variação em  $x$ , do mesmo modo para  $\frac{\partial I}{\partial y}$  segundo uma variação em  $y$ , onde, com base numa consideração contínua se reformula através de 2.5 e 2.6.

$$\frac{\partial}{\partial x} I(x, y) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{I(x + \Delta x, y) - I(x, y)}{\Delta x} \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} I(x, y) = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{I(x, y + \Delta y) - I(x, y)}{\Delta y} \quad (2.6)$$

Contudo, tendo em conta que uma imagem se apresenta sob um formato digital e como tal discreto, as diferenças serão processadas a cada intervalo composto por dois *pixels* consecutivos.

$$\frac{\partial}{\partial x} I(x, y) \approx \frac{I(x+1, y) - I(x-1, y)}{2} \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} I(x, y) \approx \frac{I(x, y+1) - I(x, y-1)}{2} \quad (2.8)$$

De forma a interpretar a direcção resultante, considere-se a variação registada com base num deslocamento de norma  $\Delta$  e segundo uma direcção arbitrária  $\theta$ , tendo como ponto inicial  $(x,y)$ . O ponto final será dado por  $P(x+\Delta\cos\theta, y+\Delta\sin\theta)$ . Considerando um deslocamento de pequena escala,

$$I(x + \Delta \cdot \cos\theta, y) \approx I(x, y) + \Delta \cdot \cos\theta \frac{\partial}{\partial x} I(x, y) \quad (2.9)$$

$$I(x + \Delta \cdot \cos\theta, y + \Delta \cdot \sin\theta) \approx I(x + \Delta \cdot \cos\theta, y) + \Delta \cdot \sin\theta \frac{\partial}{\partial y} I(x, y) \quad (2.10)$$

$$I(x + \Delta \cdot \cos\theta, y + \Delta \cdot \sin\theta) \approx I(x, y) + \Delta \cdot \cos\theta \frac{\partial}{\partial x} I(x, y) + \Delta \cdot \sin\theta \frac{\partial}{\partial y} I(x, y) \quad (2.11)$$

Seja,  $v \equiv (\Delta \cdot \cos\theta, \Delta \cdot \sin\theta)$  um vector que define a movimentação concebida.

$$I(x + \Delta \cdot \cos\theta, y + \Delta \cdot \sin\theta) - I(x, y) \approx \langle v, \nabla I \rangle^1 \quad (2.12)$$

A equação 2.12 explicita que a variação de intensidade resultante de um pequeno deslocamento pode ser obtida através do produto interno entre o gradiente e o vector que descreve o movimento. Depreende-se que sendo  $\langle v, \nabla I \rangle$  proporcional ao coseno do ângulo formado por  $v$  e  $\nabla I$ , o seu valor máximo será obtido quando os mesmos se encontrarem numa posição colinear, isto é, quando o ângulo por ambos formado for nulo. Assim, a direcção de  $\nabla I$  será aquela para a qual se regista a variação de valor mais elevado.

Tendo em conta que  $v$  representa um vector unitário com a direcção de  $\nabla I$ , torna-se claro que o valor da variação entre as intensidades será dado pela norma do gradiente, isto é,  $\|\nabla I\|$ , sendo  $\|v\| = 1$  e  $\cos \theta = 1$ .

---

<sup>1</sup> Representa o produto interno entre  $v$  e  $\nabla I$

Daqui, poder-se-á concluir que a norma do gradiente descreve o valor da diferença de intensidades aquando de um deslocamento na direcção da maior variação.

Deste modo, o valor da energia externa definida em 2.3, registará os seus valores mínimos nos pontos pertencentes ao contorno de uma determinada forma, tendo em conta que o contorno representa uma zona de elevado contraste.

A equação de energia encontrar-se-á em equilíbrio a partir do momento em que o contorno activo,  $v$ , satisfaça a seguinte equação de *Euler*, 2.13.

$$\alpha \cdot v''(s) - \beta \cdot v''''(s) - \nabla E_{ext} = 0 \quad (2.13)$$

Sendo que, tendo em conta que se trata de contornos fechados,  $v(0) = v(1)$ .

A equação 2.13 pode ser interpretada como uma representação matemática do equilíbrio de forças aplicadas ao modelo, tratando-se assim de um equilíbrio entre a energia interna e energia externa do modelo, tal como se demonstra em 2.14.

$$\begin{cases} F_{int} = \alpha \cdot v''(s) - \beta \cdot v''''(s) \\ F_{ext} = -\nabla E_{ext} \end{cases} \quad (2.14)$$

Para obter uma solução para a equação 2.13, é necessário representar o modelo através de uma formulação dinâmica. Para que tal seja concebido, o contorno necessita de ser descrito em função do tempo,  $t$ , e do espaço,  $s$ , ou seja,  $v(s,t)$ . Posteriormente, a derivada parcial de  $v$  em ordem a  $t$  é igualada ao membro esquerdo da igualdade verificada na equação 2.13, obtendo-se a seguinte equação, 2.15.

$$\frac{d}{dt} v(s,t) = \alpha \cdot v''(s,t) - \beta \cdot v''''(s,t) - \nabla E_{ext} \quad (2.15)$$

Quando  $v(s,t)$  estabilizar, o termo  $v'(s,t)$  anula-se e obtém-se a solução para a equação 2.13. A solução para a equação 2.15, pode ser obtida através da discretização da mesma e consequente resolução do sistema resultante através de um processo iterativo.

### 2.1.3. Estado da Arte

Apesar do primeiro registo da designação modelos deformáveis ou *snakes* tenha surgido no trabalho de Kass et al. [Kass 1987], o conceito de aplicação de deformação a um dado modelo datam de 1973, aquando da apresentação do trabalho elaborado por Fischler e Elschlager's [Fischler 1973], verificando-se também no trabalho produzido por Widrow's [Widrow 1973]. Contudo, a popularidade dos modelos deformáveis deve-se ao trabalho de Kass et al. [Kass 1987]. Desde a sua primeira publicação, os modelos suscitaram um vasto interesse levando a que se tornassem na maior área de pesquisa e desenvolvimento por parte da comunidade dedicada à identificação de contornos.

Os modelos de contornos activos baseados na minimização de energia foram introduzidos por Kass et al. [Kass 1987], tendo sido formulado um modelo definido através de uma função de energia. A dinâmica do seu modelo era controlada por forças denominadas internas e externas, sendo as últimas fonte da própria imagem onde se aplicava o respectivo modelo. O objectivo era encontrar um mínimo local que minimizasse a função de energia. O algoritmo desenvolvido para suportar a movimentação do modelo envolvia derivar a função e a respectiva optimização no sentido de encontrar a devida solução para a mesma, de forma a encontrar o valor responsável pela sua minimização. Contudo, as abordagens baseadas no princípio da “*minimização*”, não garantiam uma optimização global da solução. Foi com base nesta condicionalidade que Amini et al. [Amini 1990] propuseram um algoritmo de programação dinâmica com o objectivo de minimizar a função de energia com uma solução global. A sua metodologia permitia a adição de coeficientes visando um comportamento mais controlado por parte do modelo. Contudo, o algoritmo proposto era lento e apresentava uma grande complexidade,  $O(n \cdot m^3)$ , sendo  $n$  o número total de pontos do modelo e  $m$  o tamanho da vizinhança para a qual cada ponto se podia deslocar durante cada iteração [Amini 1990, Cohen 1991]. Cohen propôs posteriormente, uma força adicional que permitia ao modelo um comportamento equivalente ao de um balão, expandindo com esta nova força. Por outro lado, Williams e Shah [Williams 1992] desenvolveram um algoritmo cuja performance era em certa medida comparável com o da programação dinâmica, baseado em cálculos de minimização. Apresentaram diferentes formulações matemáticas para o termo da elasticidade e examinaram e avaliaram diversas aproximações para o termo da flexibilidade, isto é, propuseram uma total reformulação para a energia interna do modelo. A abordagem proposta foi comparada com o método original proposto por Kass et al. e analisado com

base no método da programação dinâmica proposto por Amini et al., tendo-se concluído que apresentava resultados finais muito idênticos, apesar de ter um peso computacional inferior comparado com o método de programação dinâmica, isto é, apresentava menor complexidade e ainda apesar de se verificar mais estável e flexível do que a aproximação original, tendo em conta a possibilidade de incluir coeficientes de controlo. Em complemento, Radeva et al. [Radeva 1993], propuseram novas abordagens que incorporavam a orientação do gradiente dos pontos pertencentes aos contornos e implementaram ainda um novo campo potencial como energia externa. Tinham como objectivo promover a convergência na deformação e a atracção do modelo ao contorno final, quer a curta ou a longa distância do mesmo, respondendo assim aos problemas relacionados com a posição inicial do modelo [Radeva 1995]. Kichenassamy [Kichenassamy 1995] apresentou um novo modelo de contorno activo baseado nos fluxos do gradiente e na evolução do contorno dinâmico. Caselles et al. [Caselles 1997] desenvolveu um modelo designado por geodésico baseado na minimização da energia assim como em contornos activos geométricos capazes de reformulação durante o processo de evolução do modelo. Provaram que um caso particular do modelo de energia da *snake* original seria equivalente a encontrar o menor caminho num espaço de Riemannian com a unidade baseada no conteúdo da imagem. Isto significa que perante condições específicas, a detecção de contornos pode ser considerada equivalente a encontrar o caminho mais curto num modelo de contornos activos baseado na computação geodésica ou na distância mínima local. Contudo, não surgiu nenhuma proposta com o objectivo de encontrar as distâncias mínimas relativas ao seu modelo geodésico. Xu e Prince [Xu 1997] desenvolveram uma nova configuração para a força externa, à qual chamaram o fluxo do gradiente. Esta nova força era produzida como sendo o gradiente dos níveis de cinzento do mapa de contornos da imagem já binarizada. A respectiva imagem era formulada directamente através da condição de equilíbrio em vez da formulação da minimização [Xu 1998]. Seguidamente, McInerney e Terzopoulos desenvolveram um modelo paramétrico que dispunha das potencialidades da formulação implícita, recorrendo ao uso de uma grelha que permitia parametrizar o modelo durante o próprio processo de deformação. Em seguida, Ballerini [Ballerini 1999] apresentou um procedimento para a minimização da energia baseada em algoritmos genéticos. Estes algoritmos operavam na posição do modelo e a sua dinâmica devia-se à energia total do mesmo. Usava uma versão modificada da energia da imagem, considerando tanto a magnitude como a direcção do gradiente. Pérez et al. [Pérez 2000] apresentaram uma nova técnica para a construção de

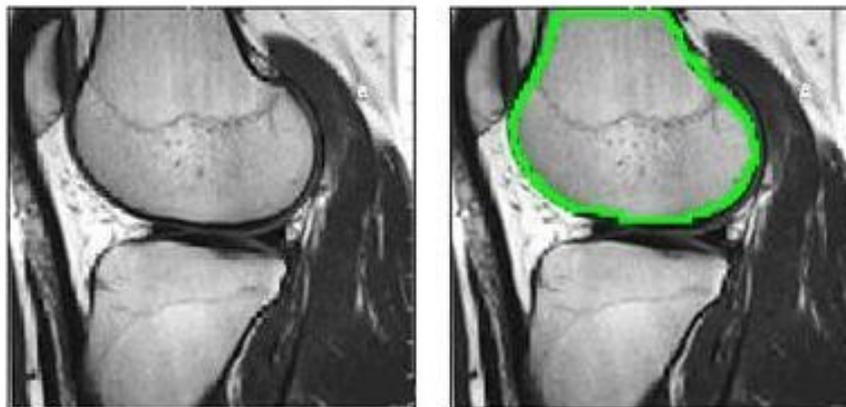
contornos activos baseados numa representação suportada por *wavelets*. Com o intuito de reduzir os problemas causados pela convergência a mínimos locais, Giraldi et al. [Giraldi 2000] propuseram um modelo dual, que consistia em comparar um contorno que se expandia a partir do interior da região desejada com outro que se contraía a partir do seu exterior. Os dois contornos eram interligados com o objectivo de retirar o modelo de possíveis mínimos locais, tornando o modelo menos sensível a este fenómeno. Posteriormente, Goldenberg et al. [Goldengerg 2001] propôs um novo modelo, usando um esquema numérico de reconhecida estabilidade para permitir implementar uma versão mais rápida dos modelos geodésicos. Por fim, Park e Keller [Park 2001] apresentaram uma nova abordagem que combinava programação dinâmica com a transformação *watershed*, denominando o respectivo modelo por *snake* de água. A técnica de transformação da *watershed* era usada para decidir quais os pontos necessários, com o objectivo de eliminar os pontos desnecessários mantendo apenas os importantes ao processo.

#### **2.1.4. Aplicações**

Os modelos deformáveis foram inicialmente concebidos com o propósito de solucionar os problemas apresentados na área da computação gráfica, assim como no campo da visão computacionalmente assistida. Porém, a sua potencialidade como instrumento de suporte à análise de imagens médicas foi identificada de forma consideravelmente célere. O seu emprego no ramo da medicina foi responsável por um substancial acréscimo da precisão, detalhe e produtividade no modo como se processava a análise de imagem. A investigação e desenvolvimento das tecnologias de análise de conteúdos médicos sublevaram a forma como a medicina é actualmente aplicada. Através do uso de técnicas de segmentação evoluídas, é hoje possível obter informação clínica relativa a determinadas estruturas anatómicas que de outro modo seria inacessível.

Podendo ser utilizados numa completa variedade de técnicas de obtenção de imagem, desde a emissão de raios X, como a ressonância magnética ou mesmo através do recurso a ultra-sons, os modelos deformáveis têm representado um papel de elevado destaque no conhecimento de determinadas características presentes nas estruturas anatómicas. Contribuem reconhecidamente na segmentação, visualização, identificação e qualificação das respectivas estruturas anatómicas em estudo, destacando-se estruturas como o cérebro,

coração, face, artérias, pulmões, estômago, fígado, estruturas ósseas, tumores, fetos e estruturas celulares como neurónios e cromossomas, demonstrando desta forma um abrangente espectro de aplicabilidade.



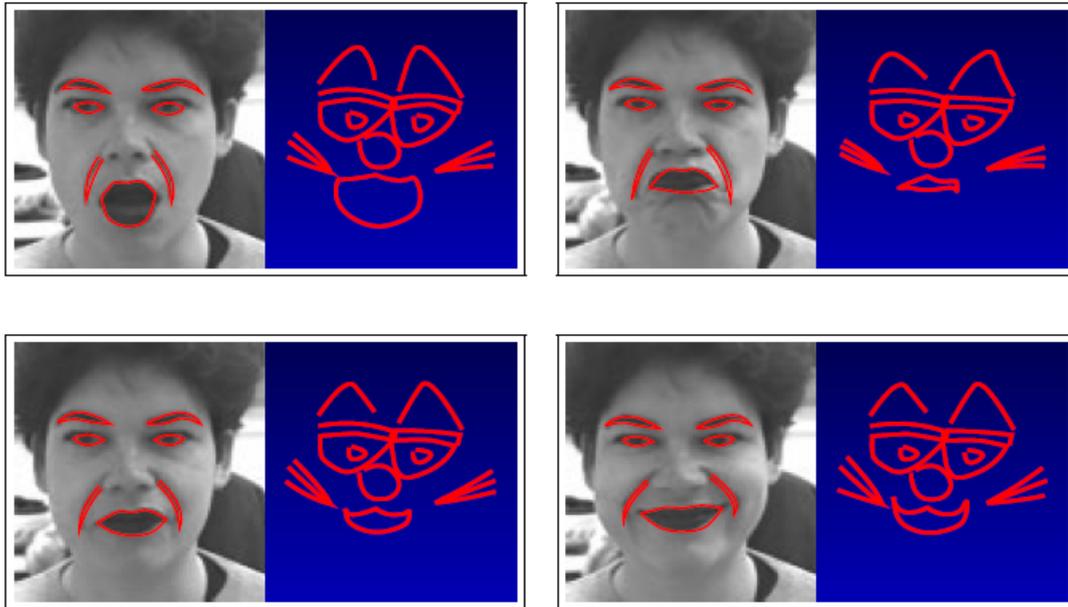
**Figura 2.1 – Segmentação de um fémur com base numa ressonância magnética. [Billings 2009]**

Para além da visualização de estruturas anatómicas, a visualização médica computacionalmente assistida é actualmente usada para simulação cirúrgica, navegação intra-operativa e na detecção e avaliação de determinadas patologias, permitindo assim o correcto e célere diagnóstico. A análise biométrica, nomeadamente no que respeita à coordenação motora foi de igual modo alvo de um desenvolvimento substancial tornando exequível o processo de avaliação da dinâmica corporal, e permitindo um posterior diagnóstico e consequente detecção de uma eventual patologia anatómica.

Contudo, o seu préstimo não se resume ao sector da medicina. Também no sector alimentar o seu contributo pode representar um benefício de estimado valor, nomeadamente na detecção e identificação de características presentes na matéria animal que poderão contribuir para o desenvolvimento de práticas específicas, as quais permitirão a optimização do processamento alimentar, assim como um acréscimo na rentabilização e produtividade.

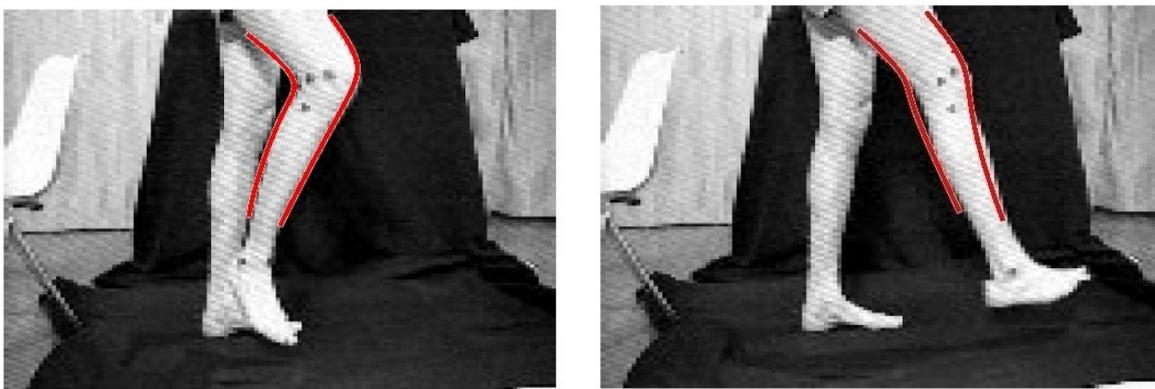
A identificação e seguimento de contornos dinâmicos, entenda-se estruturas em movimento, representa também um dos principais focos de utilização dos modelos deformáveis, designadamente na concepção de interfaces instruídas para a análise desportiva e vídeo vigilância. A técnica de captura de movimento representa um requerimento básico para a avaliação e medição da movimentação de uma estrutura. Trata-

se também de uma matéria de especial interesse na área da animação gráfica, quer por parte da indústria cinematográfica, quer na emergente indústria dos vídeo jogos.



**Figura 2.2 – Detecção de expressões faciais através de modelos deformáveis. [Blake 1998]**

De igual modo, também a análise biomecânica tem promovido a investigação e desenvolvimento de técnicas de captura de movimento, assim como no universo da robótica. Contudo, os sistemas de obtenção de dinâmica corporal obrigam ao uso de inúmeros sensores e dispositivos, sendo estes colocados em toda a extensão dos membros em análise. Os modelos deformáveis permitem capturar e modelar toda a movimentação corporal apenas através da observação de imagens, suprimindo assim, os condicionalismos presentes no uso de outras técnicas.

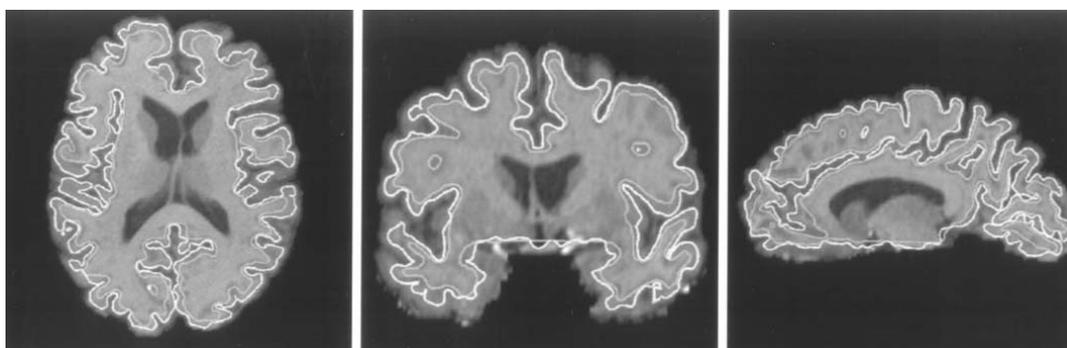


**Figura 2.3 – Captura da movimentação corporal através de modelos deformáveis. [Blake1998]**

Poder-se-á, de igual modo, responsabilizar o mercado dos dispositivos fotográficos pelo forte desenvolvimento dos modelos deformáveis, o crescente interesse na detecção automática de faces e identificação de expressões faciais tem motivado uma intensa investigação e desenvolvimento de aplicações capazes de tornar tal tarefa exequível.

### 2.1.5. Projectos

Os avanços registados nos métodos de processamento de imagens médicas permitiram a obtenção de informação detalhada relativa à composição do cérebro humano. Estes avanços colocaram como prioridade a reconstrução do córtex cerebral humano, não apenas com o objectivo de fornecer conhecimento científico acerca das suas propriedades geométricas e anatómicas, como para outros propósitos, entre os quais a localização da actividade funcional do cérebro através da representação da superfície do córtex, possibilitando desde modo uma compreensão das funções do cérebro e respectiva organização anatómica, salientando-se o uso de modelos deformáveis na realização da reconstrução mencionada [Xu 1999b].



**Figura 2.4 – Aplicação de modelos deformáveis na reconstrução da superfície do córtex.**  
[Xu 1999a]

A sua capacidade foi de igual modo explorada na detecção do endocárdio do ventrículo esquerdo e na previsão e análise do movimento do coração através de imagens captadas com recurso a ultra sons, fornecendo assim informação relevante acerca da normal ou anormal contracção do respectivo órgão, contribuindo de forma inequívoca para um correcto diagnóstico [Tseng 1997].

Também na área da crio microscopia é possível registar o contributo dos modelos. Sendo a crio microscopia designada por uma técnica usada na observação de biomoléculas, como é o caso do ADN [Jacob 2002]. O referido projecto recorreu ao uso de um microscópio electrónico de transmissão<sup>2</sup> para o adquiremento de imagens dos espécimes contidos e preservados em matéria congelada. Os modelos deformáveis são utilizados para a reconstrução da forma do filamento, com base na análise das várias imagens obtidas. A reconstrução passa por detectar a estrutura do filamento, processo para o qual os modelos muito contribuem.

Por último, é de destacar que o controlo sobre os efeitos secundários provenientes do tratamento de determinadas patologias é hoje garantido de forma mais satisfatória, actualmente é possível fornecer a quantidade exacta de radiação a um determinado órgão, diminuindo drasticamente a ocorrência de danos nas estruturas circundantes. [Amorim 1997]

Essa precisão é conseguida com o recurso à utilização de modelos deformáveis, cuja potencialidade permite detectar e identificar uma determinada estrutura com uma precisão outrora inatingível.

### **2.1.6. Discussão**

Estando em constante desenvolvimento desde a sua divulgação, os modelos deformáveis possuem uma característica única que permite o seu enquadramento nas mais diversas áreas, entenda-se, a sua capacidade de configuração e optimização. De acordo com o problema a abordar, é possível configurar os modelos, isto é, desenvolver metodologias e reconfigurações que contribuam para a construção de um modelo capaz de solucionar um determinado problema. Contudo, a reconfiguração dos modelos exige o desenvolvimento de novas técnicas e reformulações, as quais são normalmente de elaboração complexa.

Com base na análise da secção 2.1.3, o estado da arte dos modelos, torna-se possível verificar a constante pesquisa e desenvolvimento associada à área dos contornos activos.

---

<sup>2</sup>Microscópio cuja obtenção de imagem se baseia na emissão de um feixe de electrões, recorrendo a lentes electromagnéticas.

Durante as duas últimas décadas, muitos foram os investigadores que contribuíram para a evolução dos modelos, estando actualmente inquestionavelmente mais evoluídos e adaptados do que aquando da sua inicial apresentação.

O alargado espectro de aplicabilidade dos modelos deformáveis ficou perfeitamente patente na secção 2.1.4, sendo que a sua análise permitirá também tomar conhecimento das suas inúmeras vantagens ao mesmo tempo que realça o já destacável contributo dos mesmos prestado à ciência e tecnologia.

Desde a medicina à animação gráfica passando pela vigilância, os modelos deformáveis assumiram e continuam a assumir um papel de destaque no desenvolvimento dos respectivos sectores. Será inteiramente justo afirmar que o desenvolvimento das técnicas actualmente usadas na análise de imagens portadoras de conteúdo médico se deve em grande parte à aplicação de modelos deformáveis. Do mesmo modo, a concepção dos evoluídos e prestáveis serviços disponíveis para análise de teor desportivo foi conseguida recorrendo também ao uso de modelos deformáveis.

A análise e consequente interpretação das vantagens e da larga aplicabilidade dos modelos deformáveis, foi determinante na sua escolha como suporte à concepção da presente dissertação.

## **2.2. Curvas de *Bézier***

A presente secção tem como objectivo enquadrar o leitor com a estrutura das curvas de *Bézier*. É composta por quatro subsecções, as quais pretendem contribuir para uma correcta e completa compreensão do tema que apresentam. Assim, a primeira subsecção comporta uma curta introdução às curvas de *Bézier*. A subsecção 2.2.2 apresentará toda a formulação matemática responsável pela concepção e respectiva dinâmica das curvas. A seguinte subsecção exhibe um levantamento do espectro de aplicabilidade das curvas de *Bézier*, identificando os sectores onde se regista um aproveitamento claro das suas potencialidades. Por último, na subsecção 2.2.4 encontra-se uma breve análise ao tema, a qual inclui uma discussão acerca das suas vantagens e respectivo contributo no desenvolvimento dos sectores apresentados na subsecção anterior.

### 2.2.1. Prelúdio

Durante vários anos, engenheiros e arquitectos contaram apenas com instrumentos como uma simples régua e compasso para produzirem os seus desenhos e esquemas. Desse modo, linhas rectas e arcos de círculo eram os únicos traços geométricos passíveis de serem desenhados no papel, de um modo fiável e preciso. Embora se conseguisse produzir formas de relativa complexidade, estruturas de elevada complexidade geométrica assumiam-se como verdadeiros desafios no que à sua concepção diz respeito.

Esta condicionante representava um forte entrave à intenção e necessidade da indústria, nomeadamente do sector de produção automóvel, do fabrico em massa de moldes definidos com uma geometria mais complexa e com contornos mais suaves. Conscientes deste problema, dois engenheiros, Paul de Casteljaou e Pierre Bézier, desenvolvem na década de sessenta, mais concretamente em 1962, uma ferramenta de desenho baseada em modelos matemáticos. Casteljaou foi o primeiro a explorar e desenvolver o conceito. Contudo, tendo em conta que abdicou da divulgação do seu estudo, a teoria acaba por ser associada a Pierre *Bézier*, dando o nome ao feito concebido [Bartels 1998].

### 2.2.2. Exposição Teórica

As curvas de *Bézier* são definidas com base no grau do polinómio que as representam. Este pode assumir qualquer valor, desde um a  $n$ , sendo  $n \in \mathbb{R}^+$ . A diversidade associada à forma da curva depende do respectivo grau, sendo que quanto mais elevado for o seu valor, maior será a diversidade de formas passíveis de serem representadas. Porém, graus elevados, entenda-se superiores a três, implicam uma complexidade computacional também superior. De notar, que quanto maior o grau da curva de *Bézier*, menos controlável se tornará, isto porque, pequenas variações nos seus coeficientes resultarão em pronunciadas alterações geométricas.

Polinómios de primeiro grau possuem apenas a capacidade para definir linhas de declive constante, enquanto que os de segundo grau poderão representar parábolas. Contudo, estas representações geométricas apresentam o inconveniente de não possuírem pontos de inflexão, isto é, pontos que iniciem uma alteração da concavidade da curva. Os polinómios de terceiro grau, têm a capacidade de criar pontos de inflexão, com a curvatura

a alterar de forma contínua. Polinómios de ordem superior não registam grande vantagem na sua utilização pelo que as curvas de *Bézier* cúbicas são as que apresentam maior utilidade.

São controladas por quatro pontos, dois denominados por *end points*<sup>3</sup> e os restantes dois denominados por *control points*<sup>4</sup>. O seu ponto inicial,  $x_0, y_0$ , indica a posição onde a curva começa, do mesmo modo o ponto final,  $x_3, y_3$ , indica a posição onde a curva termina. O primeiro ponto de controlo,  $x_1, y_1$ , define a direcção com a qual a curva se afasta do ponto inicial, assim como o segundo ponto de controlo  $x_2, y_2$ , define a direcção com que a curva se aproxima do ponto final. A linha imaginária que une o ponto inicial ao primeiro ponto de controlo define a direcção tangencial usada pela curva aquando do começo do seu traçado. Do mesmo modo, a linha imaginária que liga o segundo ponto de controlo com o ponto final define a direcção tangencial tomada pela curva aquando do final do seu traçado. Ao contrário de relacionar ambas as variáveis,  $x$  e  $y$ , relaciona-se ambas com um novo parâmetro,  $t$ . Este poderá ser associado ao tempo, o qual terá valores contidos no intervalo fechado entre zero e um, ou seja,  $t \in [0,1]$ .

Uma forma interessante de analisar o comportamento das curvas Bézier é imaginar uma figura geométrica, neste caso um paralelepípedo, dentro do qual se encontra definida uma curva Bézier num espaço tridimensional. Assim, o lado representado pelo eixo  $x, t$ , ilustra a própria curva.

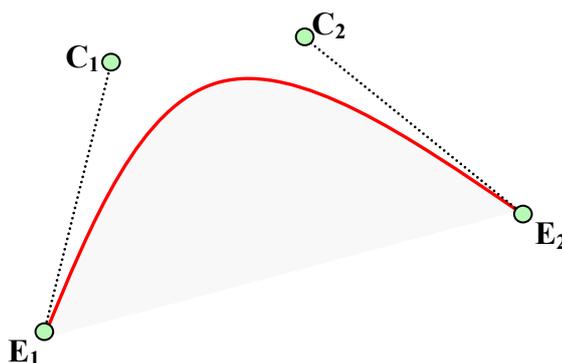


Figura 2.5 – Representação de uma curva de *Bézier* cúbica.

<sup>3</sup>Designação para os pontos que identificam as extremidades da curva.

<sup>4</sup>Designação para os pontos responsáveis por controlar a forma geométrica da curva.

A análise da face representada pelo eixo  $x, t$ , permitirá perceber a forma com  $x$  varia enquanto  $t$  assume os valores permitidos pelo intervalo em que está contido. Da mesma forma, a face representada pelo eixo  $y, t$ , possibilitará a percepção da variação de  $y$  face à tomada de valores por parte de  $t$ . De notar que  $x$  e  $y$  são parâmetros independentes, ou seja, a variável  $x$  não depende de  $y$  e vice-versa. Cada uma é definida em termos do parâmetro  $t$ .

Uma curva Bézier cúbica é definida parametricamente através de 2.16.

$$\begin{cases} x(t) = A.t^3 + B.t^2 + C.t + D \\ y(t) = E.t^3 + F.t^2 + G.t + H \end{cases} \quad (2.16)$$

As expressões associadas a cada um dos coeficientes apresentados em 2.16, resultam do desenvolvimento dos polinómios básicos de *Bernstein*<sup>5</sup>.

Seja 2.17.

$$1 = 1 \Leftrightarrow (1 - t + t) = 1 \quad (2.17)$$

Considerando a obtenção de uma curva de Bézier cúbica através 2.18.

$$(1 - t + t)^3 = 1^3 \quad (2.18)$$

$$(1 - t)^3 + 3t.(1 - t)^2 + 3t^2(1 - t) + t^3 = 1 \quad (2.19)$$

$$B_0(t) + B_1(t) + B_2(t) + B_3(t) = 1 \quad (2.20)$$

Para cada valor de  $t$ , cada uma destas 4 (quatro) funções básicas terá a sua influência no valor de  $x$  e  $y$ . Assim, de forma equivalente se poderá apresentar a seguinte formulação através de 2.21.

---

<sup>5</sup> Encontra-se no anexo A uma completa exposição teórica sobre os polinómios de *Bernstein*.

$$\begin{cases} x(t) = x_0 \cdot B_0(t) + x_1 \cdot B_1(t) + x_2 \cdot B_2(t) + x_3 \cdot B_3(t) \\ y(t) = y_0 \cdot B_0(t) + y_1 \cdot B_1(t) + y_2 \cdot B_2(t) + y_3 \cdot B_3(t) \end{cases} \quad (2.21)$$

Permitindo a igualdade entre 2.16 e 2.21, verifica-se 2.22.

$$\begin{cases} A \cdot t^3 + B \cdot t^2 + C \cdot t + D = x_0 \cdot B_0(t) + x_1 \cdot B_1(t) + x_2 \cdot B_2(t) + x_3 \cdot B_3(t) \\ E \cdot t^3 + F \cdot t^2 + G \cdot t + H = y_0 \cdot B_0(t) + y_1 \cdot B_1(t) + y_2 \cdot B_2(t) + y_3 \cdot B_3(t) \end{cases} \quad (2.22)$$

Uma vez que  $t \in [0,1]$ , as duas expressões na primeira linha de 2.22 só poderão registar o mesmo valor se os coeficientes de  $t$  forem iguais, o mesmo para as duas expressões da segunda linha. Deste modo, obtém-se a formulação matemática associada a cada um dos respectivos coeficientes.

$$\begin{aligned} A &= x_3 - 3 \cdot x_2 + 3 \cdot x_1 - x_0 & E &= y_3 - 3 \cdot y_2 + 3 \cdot y_1 - y_0 \\ B &= 3 \cdot x_2 - 6 \cdot x_1 + 3 \cdot x_0 & F &= 3 \cdot y_2 - 6 \cdot y_1 + 3 \cdot y_0 \\ C &= 3 \cdot x_1 - 3 \cdot x_0 & G &= 3 \cdot y_1 - 3 \cdot y_0 \\ D &= x_0 & H &= y_0 \end{aligned} \quad (2.23)$$

De notar que um completo desenvolvimento das expressões acima apresentadas poderá ser consultado no anexo A, incluído na presente dissertação.

Sendo uma curva Bézier representada com base na sua equação geral, dada pela expressão 2.24.

$$B(t) = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} (1-t)^{n-i} \cdot t^i \cdot P_i = (1-t)^n \cdot P_0 + \binom{n}{1} \cdot (1-t)^{n-1} \cdot t \cdot P_1 + \dots + t^n \cdot P_n \quad (2.24)$$

Com a verificação de 2.25.

$$t \in [0,1], \quad \binom{n}{i} = \frac{n!}{i! \cdot (n-i)!} \quad (2.25)$$

De uma forma mais compacta representa-se através de 2.26.

$$B(t) = \sum_{i=0}^n b_{i,n}(t) \cdot P_i, t \in [0,1] \quad (2.26)$$

Sendo  $b_{i,n}(t)$  a representação dos polinómios básicos de *Bernstein*, dada por 2.27.

$$b_{i,n}(t) = \binom{n}{i} \cdot t^i \cdot (1-t)^{n-i}, i = 0, \dots, n \quad (2.27)$$

### 2.2.3. Aplicações

A versatilidade associada à representação geométrica das curvas de *Bézier* é notável. Têm a capacidade de reproduzir qualquer estrutura geométrica, qualquer superfície, de um modo preciso e rigoroso. Com base na escolha da ordem do polinómio pretendido, a aproximação gráfica será obtida de forma exacta. Assim torna-se claro que o recurso à utilização de curvas de *Bézier* permite a reprodução de qualquer forma geométrica, ainda que o desenho de um círculo de exactidão absoluta não seja possível, a aproximação de um quarto de círculo através do seu recurso representa apenas um erro inferior a seis centésimas de percentagem (0,06%) [Oruç 2003], o que é absolutamente aceitável na maioria dos casos em que são utilizadas.

Actualmente, as curvas de *Bézier* são usadas quase exclusivamente na criação de formas curvilíneas e em todas as áreas de desenho, desde as formas puramente técnicas até às mais artísticas onde, estas apresentam um espectro de aplicabilidade muito alargado. O sector do design gráfico, bem como o sector da indústria de concepção de moldes representam as áreas que melhor exploram as potencialidades associadas às curvas de *Bézier*. No sector de design gráfico e de processamento de imagem, encontramos aplicações informáticas que fazem uso das reconhecidas vantagens das mesmas, nomeadamente, aplicações tão poderosas como o CAD, *Adobe Illustrator* e *Adobe Photoshop* e *CorelDraw* entre outros. O desenho e criação de letras digitais ilustram de igual modo outras das áreas na qual o uso das curvas de *Bézier* assume um papel de destacável importância.



**Figura 2.6 – Exemplo de aplicação das curvas de *Bézier*.**

Não menos importante é o papel que desempenha no sector automóvel e no seu desenvolvimento, permitindo a criação de automóveis com formas mais modernas, de contornos mais suaves. O seu desenvolvimento e posterior aplicação no respectivo sector, permitiu o início do estudo da aerodinâmica automóvel, o qual não era até então considerado. De salientar que ambos os responsáveis pela criação das curvas, Paul de Casteljaou e Pierre Bézier, trabalhavam no sector automóvel, representando a Citroën e a Renault, respectivamente.

#### **2.2.4. Discussão**

A presente secção teve como objectivo apresentar a estrutura das curvas Bézier, situando no espaço o momento do seu desenvolvimento, bem como identificando os responsáveis pelo mesmo. Assim, a apresentação e respectivo esclarecimento da teoria na qual as curvas de *Bézier* baseiam a sua dinâmica, visaram enquadrar o leitor com os conceitos desenvolvidos por Paul de Casteljaou e Pierre Bézier. Na subsecção 2.2.3 apresentou-se a vasta aplicabilidade do conceito apresentado na secção em análise, enunciando os diversos sectores de actividade que melhor exploram as capacidades das curvas Bézier. Com o intuito de avaliar o impacto que as mesmas produziram nos diversos sectores de actividade, poder-se-á afirmar que as curvas de *Bézier* foram responsáveis por uma micro revolução assistida no sector industrial e no sector de design gráfico, ao permitir a exequibilidade de estruturas de geometria complexa a qual não era considerada com os métodos então disponíveis.

Suprimindo os condicionalismos existentes, forneceram um abrangente leque de possibilidades técnicas que se traduziram numa evolução notória dos efeitos resultantes da sua aplicação. Passou assim a ser possível o desenvolvimento de estruturas móveis mais aerodinâmicas, o design gráfico apresentou formas cada vez mais evoluídas e o desenho de estruturas e edifícios conheceu formas nunca antes produzidas. Pretende-se deste modo, tornar evidente o relevante papel que as curvas Bézier assumiram, com a respectiva continuidade, no desenvolvimento dos sectores aos quais se destinam.

## **2.3. Anatomia da Faringe**

A presente secção apresenta o conteúdo teórico relativo à estrutura anatómica da Faringe. É composta por duas subsecções, as quais farão uma abordagem técnica acerca do sistema respiratório humano, que incluirá uma breve descrição relativa aos seus elementos constituintes, dando particular ênfase à faringe. Na segunda subsecção, 2.3.2, encontrar-se-á uma identificação das causas e consequentes efeitos relacionados com a obstrução da orofaringe. Pretende assim facultar informação essencial para o devido enquadramento científico entre o leitor e a anatomia da estrutura em destaque na presente dissertação.

### **2.3.1. Aparelho Respiratório**

O papel do aparelho respiratório é fundamental para a sustentabilidade da vida. Trata-se de um sistema constituído por dois conjuntos de estruturas anatómicas, nomeadamente as vias aéreas superiores e as vias inferiores. Das vias aéreas superiores fazem parte as fossas nasais e a faringe. As vias aéreas inferiores são constituídas pela laringe, traqueia, brônquios e pulmões.

A respiração, considerada como sendo a função básica do sistema respiratório, possibilita as trocas gasosas com o meio exterior. Trata-se de um processo inteiramente fisiológico suportado através da inspiração, onde a contracção da musculatura do diafragma e dos músculos intercostais permite a entrada de ar nos pulmões, e da expiração ocorrida aquando do relaxamento da referida musculatura, bem como dos músculos intercostais, permitindo assim a expelir o ar contido.

Descrevendo todo processo, o ar entra no corpo humano através do nariz, percorrendo as fossas nasais, que são formadas por duas cavidades que iniciam a sua estrutura nas narinas estendendo-se até à faringe. Têm a função de filtrar, humedecer e aquecer o ar. O ar inspirado segue em direcção à faringe, continua o seu trajecto passando pela laringe. Esta assume a forma tubular sendo constituída por cartilagem e músculos, por onde o ar passa em direcção aos pulmões. A traqueia é composta por anéis de cartilagem, bifurcando-se na extremidade e dando origem a dois brônquios, o esquerdo e o direito, que penetram o pulmão. Encontrando-se já inseridos nos pulmões, cada brônquio divide-se em estruturas de tamanho cada vez mais reduzido, denominadas de bronquíolos. Associado a cada bronquíolo está uma estrutura em forma de cacho, formado por vários sacos alveolares. Cada alvéolo é constituído por cavidades de paredes muito finas designadas por alvéolos pulmonares, sendo estes cobertos por capilares sanguíneos. O fenómeno de trocas entre o meio externo e o meio interno é designado como hematose pulmonar. Neste processo de trocas gasosas, o oxigénio que permanece no ar, existente no interior dos alvéolos pulmonares, segue para o sangue que circula dentro dos capilares sanguíneos que cobrem o alvéolo, enquanto o dióxido de carbono que foi produzido será expelido através do processo inverso. Sintetizando, o sistema respiratório tem a função de captar oxigénio da atmosfera, para posterior fornecimento do mesmo aos processos de produção de energia no interior das células; possui também a tarefa de eliminar o dióxido de carbono proveniente dos processos metabólicos ocorridos no espaço interno das células.

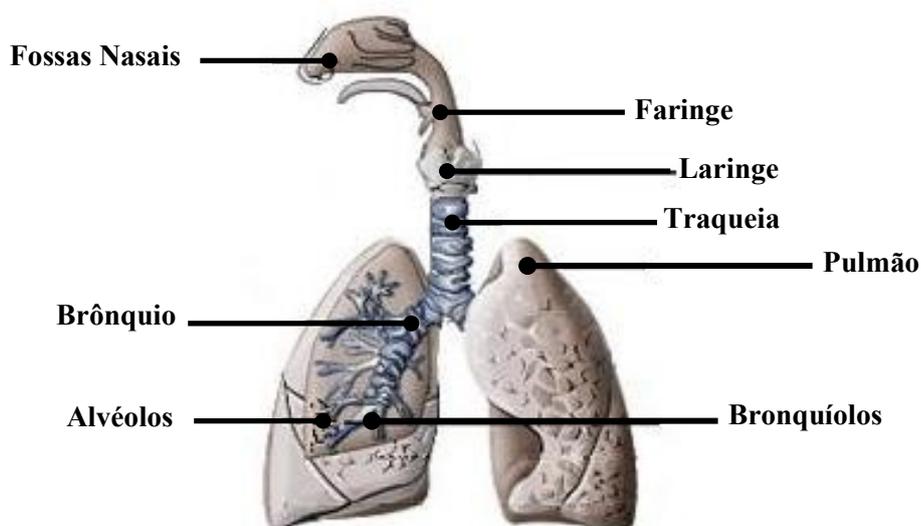


Figura. 2.7- Constituição do Sistema Respiratório. [Educação 2009]

### 2.3.2. Faringe

A faringe caracteriza-se por ser um canal de ligação entre as seguintes estruturas anatómicas: nariz, boca, laringe e esófago. Trata-se portanto, de um canal comum aos sistemas respiratório e digestivo. Localiza-se, considerando uma perspectiva vertical, entre as fossas nasais e a coluna vertebral, sendo que a sua extensão abrange a base do crânio até à sexta vértebra cervical, tecnicamente denominada de vértebra C6. Trata-se de uma espécie de ligação comutável, que por um lado liga a cavidade oral com o esófago, por outro as fossas nasais com a laringe.

A sua comunicação com a laringe, a estrutura seguinte, encontra-se protegida por uma membrana denominada epiglote, que actua como uma válvula durante a inspiração.

Deste modo, o ar proveniente das fossas nasais faz com que a epiglote se mova de forma a obstruir a sua entrada no esófago, conduzindo o ar para o canal adequado, isto é, a traqueia, a este fenómeno dá-se o nome de deglutição.

A faringe é dividida em três secções: nasofaringe, localizada posteriormente à cavidade nasal, orofaringe, situada seguidamente à cavidade oral e laringofaringe, que se encontra na parte posterior à laringe.

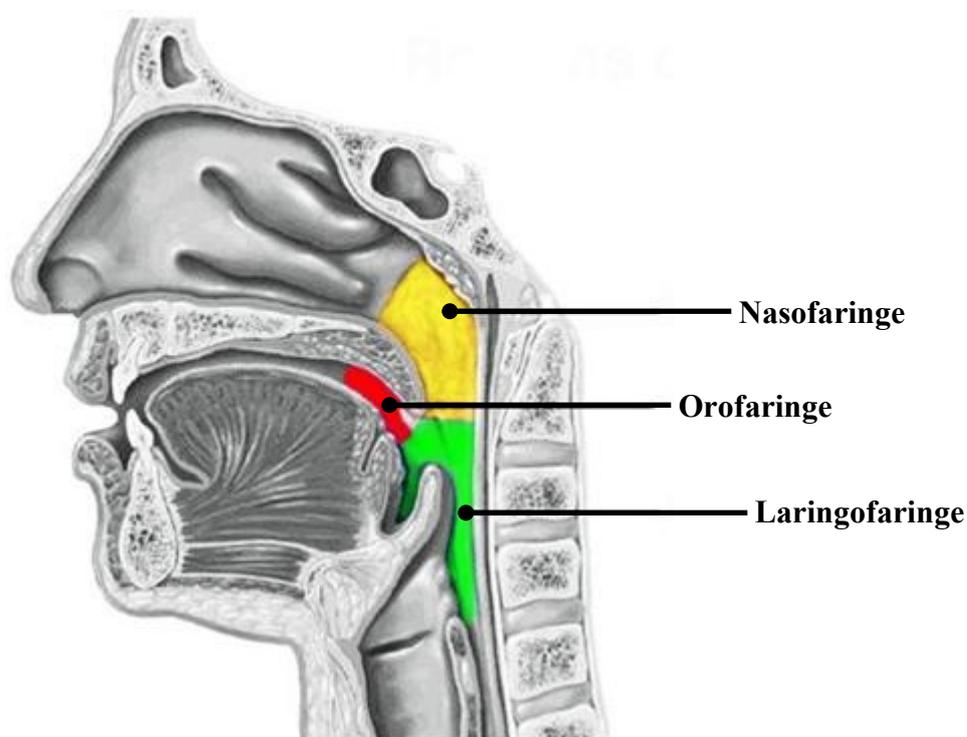
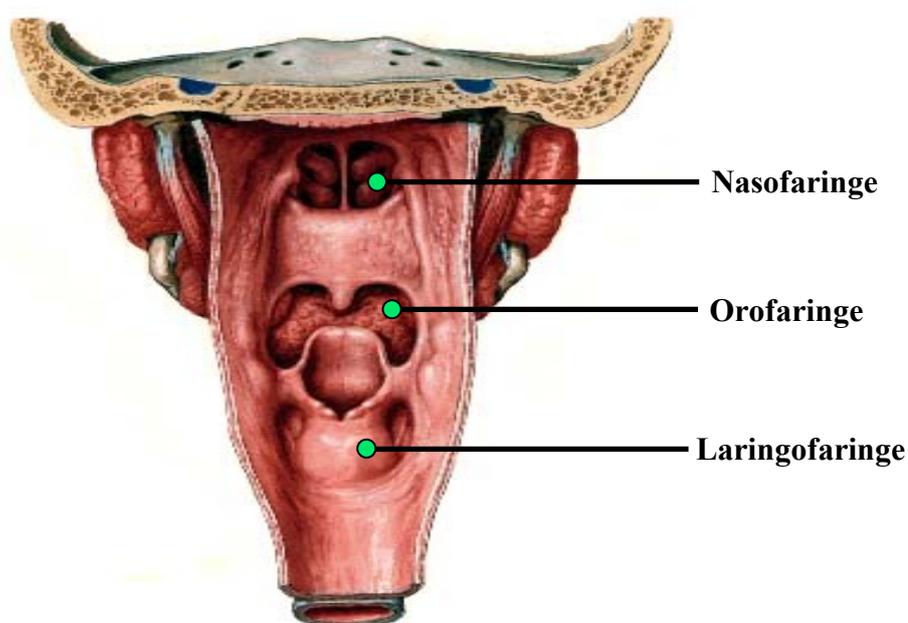


Figura 2.8 – Representação das secções da faringe. [Fau 2009]

Em termos anatómicos, a faringe assemelha-se à estrutura de um funil irregular, sendo largo no início, assumindo como referência as fossas nasais, tornando-se cada vez mais estreito com a proximidade à laringe. Possui um comprimento médio de quinze centímetros, aquando do seu estado de repouso. Perante uma contracção, a sua extremidade inferior eleva-se e o seu comprimento diminui cerca de três centímetros. Apresenta um diâmetro que varia entre os quatro e os dois centímetros, desde a parte superior à inferior, respectivamente. A sua análise anatómica permite distinguir uma face posterior, duas faces laterais e duas extremidades. Do posto de vista frontal, a faringe não possui superfície exterior, tendo em conta as diversas aberturas, fossas nasais, cavidade oral e laringe.



**Figura 2.9 – Visualização anatómica da faringe. [OncologyChannel 2009]**

A face posterior, considerada plana, apresenta continuidade de cada lado através das faces laterais formando os denominados ângulos da faringe. A aresta formada, estabelece o limite entre a face posterior e a face lateral correspondente. Em termos espaciais, a face posterior relaciona-se com o espaço retrofaríngeo compreendido entre a faringe, à frente, a aponeurose pré-vertebral, atrás e os septos sagitais, lateralmente.

As faces laterais relacionam-se com uma grande diversidade de pequenas estruturas anatómicas, nomeadamente e numa consideração descendente, com a superfície posterior da apófise pterigoideia, com o ligamento ptérigo-maxilar, com a extremidade posterior da

linha do milo-hióideo, com a face lateral da base da língua, com o ligamento tirohioideo lateral, com a superfície posterior das lâminas laterais da cartilagem tiróide e com a porção lateral da placa cricóide. Ainda em consideração às faces laterais, a possibilidade de distinção entre duas secções torna-se bem patente, identificando-se a secção superior e a secção inferior, também denominadas por cefálica e cervical, respectivamente.

Relativamente à extremidade superior, esta é responsável pela fixação da faringe à base do crânio. A linha de inserção apresenta uma secção média e duas secções laterais. A secção média tem uma forma curva e estende-se de uma espinha do esfenoíde à outra, passando pelo tubérculo faríngeo do occipital. As secções laterais dessa linha de inserção, posicionadas obliquamente, estendem-se desde a esfeno-petrosa da base do crânio até à extremidade superior das apófises pterigoideas.

A extremidade inferior representa frontalmente a superfície inferior da cartilagem cricóide da laringe e, atrás, a superfície da sexta cervical.

Em termos funcionais, poder-se-á dizer que a faringe representa o único órgão indispensável para a circulação do ar e dos alimentos ingeridos. O ar pode penetrar através das vias aéreas, pelos orifícios nasais ou pela boca. Porém, em ambos os casos necessita obrigatoriamente de passar pela faringe. Caso seja inspirado com recurso aos orifícios nasais, o ar dirige-se para a faringe superior, prossegue até à faringe inferior, até finalmente chegar à laringe. Em alternativa, se for inspirado através da boca, passa directamente para a faringe média e após atravessar a inferior, segue em direcção à laringe. Em qualquer dos casos, o ar continua a sua circulação pela traqueia e pelos brônquios até aos pulmões.

Por outro lado, os alimentos entram sempre no tubo digestivo através da boca e são obrigados a seguir o seu caminho pela faringe média, descendo posteriormente pelo esófago, no sentido de serem armazenados no estômago. Esta dupla funcionalidade da faringe só se verifica devido à existência de uma estrutura denominada de epiglote. Encontra-se situada na parte superior da faringe, onde normalmente permanece aberta, permitindo o acesso do ar à traqueia, contudo, assim que se processa a deglutição, esta fecha-se, bloqueando a entrada da laringe, condicionando desse modo o bolo alimentar a dirigir-se para o esófago.

### **2.3.3. Obstrução da Orofaringe**

Representando um sistema vital ao funcionamento do corpo humano, o sistema respiratório revela-se como sendo de extrema sensibilidade. Desde modo, qualquer factor que possa debilitar a sua adequada dinâmica assume-se como um sério risco à vida humana.

Sendo a faringe um canal de passagem de ar e alimentos, a obstrução da orofaringe representa um dos factores com capacidade para condicionar a prestação das faculdades do sistema respiratório, bem como do sistema digestivo. Assim, considera-se absolutamente pertinente por um lado impedir a presença desses mesmos factores, por outro lado avaliar as consequências relacionadas. Nas subsecções que se seguem serão identificadas e analisadas as causas e respectivos efeitos resultantes de uma determinada obstrução. A subsecção 2.3.3.1 apresentará um levantamento de alguns dos variados motivos que levam ao bloqueio da orofaringe, quer seja parcial ou total, expondo apenas aqueles que melhor se enquadrem no tema da dissertação apresentada. Do mesmo modo, a subsecção 2.3.3.2, inclui uma abordagem sobre os efeitos provenientes das causas identificadas.

Com a apresentação da subsecção 2.3.3, pretende-se facultar um esclarecimento claro e objectivo das razões que levam à obstrução da estrutura anatómica em estudo, analisando conjuntamente as suas consequências, ao nível da sustentabilidade das funções vitais do ser humano. Pretende-se de igual modo enunciar a motivação que levou à concretização da tese em análise, sendo este um tema cuja compreensão e criação de novas ferramentas para a sua interpretação, permitirá a sua correcta análise, ao mesmo tempo que suprimirá todos os condicionalismos impostos à sua compreensão.

#### **2.3.3.1. Causa**

Um dos factores responsáveis pela obstrução da orofaringe é a ocorrência de uma inflamação nas amígdalas, denominada de amigdalite. De notar que apenas se fará referência às amígdalas palatinas, tendo em conta a sua exclusiva relação com o tema da presente dissertação.

As amígdalas palatinas identificam-se como sendo duas formações com um tamanho registado entre os três e os cinco centímetros, situadas no fundo da cavidade oral, mais

concretamente na zona média da faringe, ou seja, na orofaringe. Têm como função auxiliar o organismo no fabrico de anticorpos contribuindo na sua defesa contra bactérias e vírus. Juntamente com outras estruturas, as amígdalas fazem parte do sistema imunitário do corpo humano, ao reter nas suas paredes parte dos microrganismos nocivos que são introduzidos através do nariz e da garganta. São constituídas por um tecido semelhante aos gânglios linfáticos, estando assim revestidas por uma cobertura composta por inúmeras vilosidades microscópicas. O tecido interno das amígdalas é maioritariamente composto por glóbulos brancos. Tratando-se de células imunitárias cuja capacidade lhes permite detectar, identificar e eliminar os microrganismos, desactivando-os e eliminando-os. No seu espaço interno, formam-se diversos canais que desaguam na superfície e cuja função é drenar um líquido que contém resíduos celulares e restos de microrganismos.

A sua susceptibilidade a infecções quer devido a bactérias quer devido a vírus, está relacionada com o seu posicionamento na estrutura anatómica do corpo humano. Situando-se num segmento da faringe onde a via respiratória superior (fossas nasais) conflui com o canal de admissão alimentar (cavidade oral), torna-se perceptível o facto de os microrganismos presentes no ar e nos alimentos contactarem directamente com a sua superfície e produzindo uma infecção. Essa mesma infecção ocorre sempre que a capacidade bacteriana ou viral seja superior à capacidade defensiva da sua estrutura. Como mencionado anteriormente, a respectiva infecção denomina-se por amigdalite. A forma como esta evolui permite ser distinguida em dois modos distintos, resultando na seguinte denominação, amigdalite aguda e amigdalite crónica. A amigdalite aguda é particularmente frequente em crianças com mais de três anos de idade, onde a patologia surge de forma súbita, tratando-se de uma infecção pontual, desaparecendo num prazo de cinco a sete dias. Porém, quando os registos infecciosos agudos ocorrem com uma frequência considerável, os microrganismos responsáveis poderão alojar-se permanentemente nas amígdalas palatinas, provocando infecções persistentes.

### **2.3.3.2. Efeito**

A amigdalite produz os seus efeitos de forma progressiva. Começa por se manifestar através de dores de garganta, acompanhadas por uma manifesta dificuldade por parte do doente em engolir. Posteriormente a sintomatologia passa a conter febre, dor de cabeça,

perda de apetite e fraqueza, registrando-se em certos casos a ocorrência de dores no ouvido. Se se registrar uma ausência de tratamento adequado, a sintomatologia associada pode agravar-se consideravelmente. Quando em crianças, as amígdalas poderão aumentar o seu volume de forma notável ao ponto de condicionarem a deglutição, podendo inclusive dificultar a respiração, sobretudo durante a noite. Em casos mais graves, poder-se-ão registar rupturas no próprio tecido das amígdalas, formando canais responsáveis pela libertação de pus através do seu interior. Nestes casos, existe um risco acrescido para o desenvolvimento de um abscesso periamigdalino.

O abscesso periamigdalino representa um aglomerado de pus localizado na parte posterior das amígdalas. O tratamento inadequado de um abscesso deste tipo irá permitir que a infecção se alastre a outras estruturas do pescoço, colocando em perigo a vida do doente, tendo em conta que suprime significativamente a sua capacidade respiratória.

**Zona de aglomeração de pus**



**Figura 2.10 – Infecção das amígdalas palatinas.**



## CAPÍTULO 3.

### ARQUITECTURA DO SISTEMA

---

O presente capítulo apresenta a arquitectura implementada para a concepção do sistema de visão mencionado ao longo da presente dissertação. A primeira secção expõe uma abordagem geral sobre os principais objectivos do sistema, incluindo de igual modo uma breve descrição sobre todo o trabalho desenvolvido. Em seguida, na segunda secção encontra-se uma descrição sobre as alterações efectuadas à formulação usada no modelo convencional, quer relativa à energia interna, quer no que respeita à energia externa do mesmo. Posteriormente, na secção seguinte apresenta-se uma explanação detalhada sobre a arquitectura usada para reformular o modelo, descrevendo-se de igual modo os diversos processos constituintes da mesma. Por último, a quarta secção descreve uma síntese geral do presente capítulo, destacando os conceitos principais apresentados através do capítulo em análise.

#### 3.1 Prelúdio

Na presente dissertação é proposto um sistema de visão para apoio à avaliação da obstrução da orofaringe em crianças. O sistema desenvolvido apresenta a capacidade de detecção e identificação de um conjunto de áreas presentes na orofaringe humana. De referir que o sistema proposto terá como material de análise imagens que documentem cenários de inflamação de amígdalas, ou seja, casos de amigdalites. Identificada como funcionalidade do sistema apresentado, está a capacidade do mesmo em extrair relações acerca das diversas áreas detectadas e identificadas de acordo com as pretensões do utilizador.

Com o intuito de encontrar um modelo capaz de concretizar os objectivos a que se propunha o sistema de visão, foi elaborado um estudo sobre as ferramentas desenvolvidas no campo do processamento de imagem cuja capacidade permitisse a extracção de características de uma determinada imagem. A conclusão e respectiva análise do estudo efectuado, permitiu indiciar os contornos activos, a par com as curvas de *Bézier*, como

ferramentas de suporte à concepção do sistema de visão apresentado. As duas primeiras secções pertencentes ao capítulo dois da presente dissertação, apresentam de uma forma objectiva e matematicamente fundamentada o estudo elaborado para a escolha dos modelos que melhor contribuíssem para os objectivos propostos.

O modelo convencional [Kass 1987] apresenta uma formulação que limita o contorno activo suportado, no que respeita ao processo responsável pela dinâmica do mesmo, sendo este computacionalmente exigente. Por outro lado, limita o mesmo a padrões de elasticidade e flexibilidade antecipadamente definidos pelo utilizador através da escolha dos valores dos respectivos coeficientes de controlo. De salientar ainda dois aspectos condicionantes à utilização do modelo convencional, sendo eles a reduzida capacidade em convergir para regiões com elevados níveis de curvatura e a necessidade do seu posicionamento inicial numa região próxima do contorno da forma presente na imagem. Contudo, a manifesta exigência e rigor empregues a esta dissertação motivaram a alteração do modelo convencional usado na detecção de características particulares em imagens. De notar que neste caso, a característica pretendida está associada à detecção e identificação dos contornos de uma determinada forma presente numa dada imagem. Assim, com a pretensão de obter resultados adequados e precisos, foi feita uma reformulação do modelo convencional, reformulação essa que permitiu alcançar os resultados pretendidos.

As curvas de *Bézier* foram seleccionadas para dar suporte ao sistema desenvolvido, tendo em conta as suas propriedades, nomeadamente no que tem que ver com a simplicidade da sua formulação matemática resultando num baixo recurso computacional e na sua escalabilidade de configuração que permite obter curvas com um elevado índice de flexibilidade. Juntamente com os contornos activos, apresentam-se como parte integrante do suporte a toda a dinâmica do sistema desenvolvido, no que respeita ao processo de detecção e identificação do contorno. O seu importante contributo encontra-se no processo de definição manual de contornos, isto é, permite-se ao utilizador, e sempre que a ausência de contraste verificado o exija, definir manualmente os segmentos do contorno da estrutura pretendida, de acordo com a sua interpretação da imagem, bem como no processo de redefinição do contorno identificado pelo contorno activo. De salientar que os segmentos introduzidos artificialmente pelo utilizador são ainda alvo de um ajuste automático, suprimindo-se deste modo a possibilidade de o resultado sofrer qualquer influência derivada da susceptibilidade interpretativa por parte do utilizador.

A metodologia usada na concepção do sistema apresentado, contém ainda a utilização de um conjunto de operações de processamento de imagem, bem como diversos

algoritmos desenvolvidos, sendo que parte dos mesmos são de carácter específico, ou seja, concebidos em exclusivo para o sistema em análise. Os restantes caracterizam-se como de utilidade geral, podendo ser aplicados em diversas aplicações que recorram ao processamento de imagem.

Toda a metodologia desenvolvida será detalhadamente descrita nas secções seguintes, as quais permitirão uma análise objectiva de toda a estrutura criada, com particular destaque para a reformulação do modelo de contorno activo convencional, enunciando-se a alteração idealizada e aplicada, bem como empregando especial minúcia na exposição da arquitectura dos diversos algoritmos projectados.

## **3.2 Reformulação**

Pretende-se nesta secção descrever a reformulação efectuada ao modelo convencional.

O estudo efectuado acerca do comportamento do contorno activo controlado através da formulação convencional, permitiu concluir que este não possuía as capacidades exigíveis. Assim, a análise concebida revelou que as limitações apresentadas pelo mesmo condicionariam o rigor e dinâmica do principal processo descrito na presente dissertação. Deste modo, a possibilidade de proceder a uma reformulação do modelo convencional no sentido de obter resultados adequados apresentou-se como uma tarefa indispensável. A determinação empregue no processo de reflexão e de idealização de um modelo reformulado, viabilizou a concepção de um modelo adaptado às necessidades requeridas, revelando um espectro de adaptabilidade superior. A formulação do modelo convencional foi parcialmente modificada, salientando-se que a energia interna associada ao mesmo apresenta-se agora suportada com base num conceito inovador, sendo que a energia externa passa a ser definida como o mapa potencial da imagem em consideração.

As duas seguintes subsecções descrevem detalhadamente o conceito idealizado e aplicado na reformulação em análise.

### 3.2.1. Energia Interna

A energia interna do modelo convencional, tal como descrito na secção 2.1, encontra-se modelada através de uma equação diferencial, a qual representa matematicamente as propriedades consideradas físicas associadas ao comportamento do modelo, como a elasticidade e flexibilidade. Tal como é mencionado na secção 2.1.2, a dinâmica do modelo encontra-se condicionada pela escolha dos coeficientes de elasticidade e flexibilidade. Deste modo, o processo de optimização do modelo, isto é, todo o período necessário à correcta selecção de um par de coeficientes adequados, no que respeita ao comportamento desejado do modelo, considera-se como um acto de relativa morosidade, revelando-se por vezes insuficiente para permitir a identificação dos respectivos coeficientes.

A consideração feita anteriormente foi responsável pela motivação que conduziu à elaboração de um novo modelo, mais apto, no qual apenas um dos coeficientes se encontra na necessidade de determinação, entenda-se o coeficiente de flexibilidade. O conceito base da reformulação efectuada ao modelo convencional, prende-se com o facto de este assumir um comportamento cuja dinâmica se deva às características das curvas de *Bézier*, ao contrário do modelo convencional cujo comportamento depende inteiramente da selecção dos parâmetros de controlo associados, ou seja, aos coeficientes mencionados. Deste modo, suprime-se a necessidade de se proceder à relativa e arbitrária identificação dos coeficientes que melhor definam o comportamento desejado, não existindo porém, a garantia de um comportamento único e de acordo com o desejado. A adaptabilidade do modelo encontra-se assim definida intrinsecamente, dependendo exclusivamente do número de troços da curva que representa o modelo inicial e da própria energia externa proveniente directamente da imagem. A descrição completa do algoritmo responsável pela dinâmica do modelo proposto na presente dissertação encontra-se apresentada no capítulo 3.3.

### 3.2.2. Energia Externa

Como especificado na subsecção 2.1.2, a energia externa não se encontra directamente relacionada com o próprio modelo, mas sim com a respectiva imagem. Assumirá a responsabilidade de atrair o modelo para as características previamente definidas com base

na sua configuração, a qual, e como referido anteriormente, será configurada para permitir a identificação dos contornos presentes numa determinada imagem em situação de análise. Tendo em conta as limitações apresentadas pela configuração do modelo convencional, foi concebida uma nova abordagem que foi responsável pela reformulação da componente associada à energia externa. A conclusão alcançada permitiu assimilar as razões responsáveis pela insuficiência do modelo original, donde, energia externa desenvolvida e agora apresentada compõe-se da conjugação de duas energias auxiliares, sendo as mesmas, a energia potencial e a energia de expansão. Como mencionado anteriormente, a nova reformulação elaborada através da inclusão das duas energias referidas, visa contribuir para a supressão das condicionantes apresentadas pelo modelo original.

### **3.2.2.1. Energia Potencial**

O objectivo de reduzir o impacto das limitações apresentadas pelo modelo convencional motivou a idealização e conseqüente desenvolvimento de um conjunto de conceitos e soluções que permitiram contribuir para uma notável redução da escassez de adaptabilidade característica do modelo convencional. Na presente subsecção apresenta-se um dos respectivos conceitos, a energia potencial, cujo intuito é o de anular a obrigatoriedade de aproximação do modelo face ao contorno do objecto, no que respeita à sua posição inicial. Assim, permitir-se-á que a posição inicial do modelo seja determinada sem ter como factor determinante a distância aos contornos do objecto.

A energia potencial tem como objectivo a criação de um mapa potencial capaz de conduzir o modelo em direcção aos contornos do objecto, ainda que este assuma uma forma com zonas cuja curvatura se defina como elevada. Deste modo, garante-se a atracção do modelo a qualquer região da estrutura presente na imagem independentemente do posicionamento inicial do primeiro. De notar que a capacidade indicada verifica-se nas situações em que se registe a existência do contorno, entendendo-se como lógica a análise efectuada. Garante-se assim a anulação de uma das principais lacunas do modelo convencional, isto é, a ausência de capacidade de convergência nas situações em que não se verifica um posicionamento inicial próximo do contorno em avaliação. A criação do campo potencial será obtida com base na representação binária da respectiva imagem. Neste caso, os dois níveis de intensidade corresponderão ao preto e ao branco.

O algoritmo responsável pela concepção do campo potencial encontra-se estruturado em quatro níveis, sendo a sua estrutura representada na figura 3.1.



**Figura 3.1 – Algoritmo de concepção do campo potencial, *PotentialCreator*.**

O primeiro nível, a identificação, tem como objectivo identificar os *pixels* vizinhos do contorno registando-os em memória. De notar que o algoritmo em descrição será aplicado directamente à representação binária da respectiva imagem. A representação mencionada refere-se ao resultado da aplicação de um processo de binarização cujo valor de comparação resulta da análise estatística de *Otsu* [Otsu 1979]. De salientar de igual modo, que a imagem resultante da aplicação de um processo de realce de contornos, neste caso através da utilização do método de *Sobel* [Nixon 2002] serviu de base à aplicação do processo de binarização. O segundo método, *classificação*, é responsável por atribuir a intensidade unitariamente inferior à do contorno, isto é, 254 (duzentos e cinquenta e quatro) a cada um dos *pixels* identificados através do primeiro método, ao mesmo tempo que regista os vizinhos de cada um deles, num critério de vizinhança a quatro, ou seja, os quatro vizinhos, guardando os mesmos em memória para posterior análise.

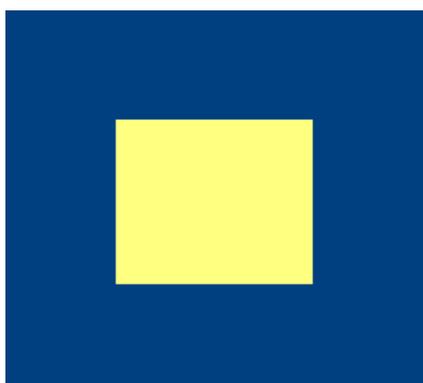
De notar que só serão guardados os vizinhos que até então não tenham sido previamente identificados, isto porque dois *pixels* poderão possuir vizinhos em comum. O terceiro método, *comparação*, verifica os vizinhos dos pontos registados pelo método anterior atribuindo-lhes a intensidade unitariamente inferior. O último passo, *análise*, permite

verificar se ainda existem *pixels* por identificar, o que acontecerá se o segundo método detectar vizinhos que ainda não tenham sido alvo de processamento. Caso se verifique, o processo repetir-se-á a partir do terceiro método.

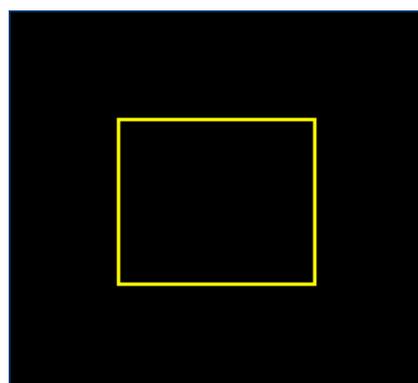
248	249	250	251	252	253	254	255

**Figura 3.2 – Representação do campo potencial.**

A figura 3.2 ilustra o resultado da aplicação do algoritmo acima descrito, tornando visível o mapa do campo potencial, sendo este responsável pela atracção do modelo ao contorno. Entenda-se que se trata de um exemplo meramente ilustrativo de uma linha onde se considera um conjunto de oito *pixels*, correspondendo os pontos pertencentes ao contorno do objecto à intensidade máxima, ou seja, duzentos e cinquenta e cinco, e os correspondentes vizinhos a serem sucessivamente afectados com a intensidade unitariamente inferior. Tendo em conta que o modelo procurará os *pixels* com maior energia potencial, em módulo, facilmente se percebe a forma como o mesmo será capaz de alcançar os contornos do objecto, permitindo desse modo a sua correcta adaptabilidade às regiões cujo nível de curvatura do contorno do objecto em análise seja considerado elevado.



**Figura 3.3 – Imagem Original.**



**Figura 3.4 – Aplicação do método de Sobel.**

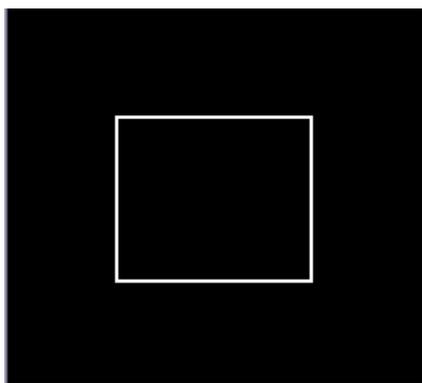


Figura 3.5 – Imagem binarizada.

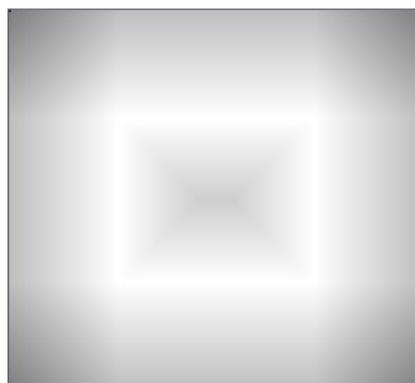


Figura 3.6 – Representação do campo potencial.

Em termos conceptuais, o resultado da aplicação do algoritmo acima descrito encontra-se expresso na figura 3.7, de um modo dito numérico, isto é, apresentando apenas o nível de intensidade de cada *pixel*. A cor empregue na numeração dos *pixels* tem o objectivo de diferenciar as várias iterações do respectivo processo iterativo, não correspondendo portanto, à sua verdadeira intensidade. De notar que os pontos com intensidade máxima, neste caso, duzentos e cinquenta e cinco, correspondem aos pontos pertencentes ao objecto.

251	252	253	253	253	253	253	253	252	251
252	253	254	254	254	254	254	254	253	252
253	254	255	255	255	255	255	255	254	253
253	254	255	254	254	254	254	255	254	253
253	254	255	254	253	253	254	255	254	253
253	254	255	254	253	253	254	255	254	253
253	254	255	254	254	254	254	255	254	253
253	254	255	255	255	255	255	255	254	253
252	253	254	254	254	254	254	254	253	252
251	252	253	253	253	253	253	253	252	251

Figura 3.7 – Mapa de intensidades do campo potencial.

A energia potencial pode igualmente ser caracterizada como resultado da composição de duas forças, a força de expansão e a força de contracção. Trata-se do processo dinâmico suportado pela energia potencial o qual pode ser definido com base nas forças referidas anteriormente.

A apresentação das duas próximas subsecções efectua um esclarecimento adequado sobre cada uma das forças mencionadas, encontrando-se em cada uma delas uma explanação relativa ao modo como cada uma das respectivas componentes se definem segundo a dinâmica global do contorno activo.

#### **3.2.2.1.1. Força de Expansão**

De acordo com o que foi mencionado no capítulo dois, o modelo original apresenta duas condicionantes ao desempenho do contorno activo que suportam, a sua convergência limitada, isto é, a obrigatoriedade da posição inicial do modelo se encontrar relativamente próxima do contorno do objecto e a sua escassez de adaptabilidade, impedindo o correcto ajuste a zonas de elevada curvatura.

O conceito da força de expansão assemelha-se ao efeito de enchimento de um balão, onde a pressão do ar obriga a sua forma a expandir. Cada ponto pertencente ao modelo sofrerá o efeito de uma força que o obrigará a deslocar-se na direcção da dilatação, caso a variação do mapa da energia potencial assim o garanta, aplicando ao modelo um aumento na sua área. De notar que se trata de uma descrição conceptual. O algoritmo desenvolvido com o intuito da aplicação do conceito em análise apresenta a capacidade de detectar situações de bloqueio indevido, isto é, situações em que troços do modelo se encontram em regiões formadas por vales de intensidades, denominados por mínimos locais. A solução desenvolvida para a resolução do referido problema encontra-se detalhadamente descrita na secção 3.3.4.

A figura 3.8 ilustra a aplicação do conceito de força de expansão. De referir que se trata de um exemplo meramente ilustrativo, no qual não se verifica a aplicação dos métodos de resolução referidos, sendo estes apresentados na secção 3.3.4.



Figura 3.8 – Resultado da força de expansão.

A figura 3.8 apresenta a marcação do campo potencial onde se verifica o posicionamento inicial do modelo sobre o mesmo. Esta pretende exemplificar a situação em que se regista a ocorrência de linhas de uniformidade potencial, ou ainda linhas equipotenciais no caminho de deslocamento dos pontos do modelo. A figura apresentada contém um *pixel* identificado com uma circunferência a preto o qual representa um ponto do contorno alvo da força de expansão proveniente do mapa potencial criado com base na imagem. De salientar que a existência de um mecanismo de suporte quer ao processo de expansão, quer ao processo de contracção apresentado na subsecção seguinte, concebido para determinar qual a direcção adequada que cada um dos pontos constituintes do modelo deve tomar aquando da sua retenção numa região de equidade potencial, será detalhadamente descrito nas secções posteriores. De referir que se tratam de métodos desenvolvidos com o intuito de suprimir a retenção de quaisquer pontos pertencentes ao contorno activo provocada pela presença de regiões isoladas caracterizadas pela sua equidade potencial, também designadas por vales, donde, aquando da detecção do referido bloqueio ser-lhe-á aplicada uma força de repulsão que lhe permitirá deslocar-se segundo a

direcção do valor máximo de energia potencial, representando a direcção do contorno da estrutura em identificação.

### 3.2.2.1.2. Força de Contração

A subsecção em análise visa a apresentação da segunda força proveniente da energia potencial, a força de contração. Trata-se de uma força cuja aplicação provoca no contorno activo um comportamento de redução na área que identifica. Em termos conceptuais poder-se-á comparar o seu modo de funcionamento com o processo de esvaziamento de um balão. Para cada ponto cuja influência da respectiva forma se manifesta, verificar-se-á um deslocamento do mesmo no sentido da região interior delimitada pela forma apresentada pelo contorno activo. A figura 3.9 expõe de forma ilustrativa um exemplo da actuação do conceito em análise, neste caso a força de contração.

251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	250
251	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	251	250
251	252	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	252	251	250
251	252	253	254	254	254	254	254	254	254	254	253	252	251	250
251	252	253	254	255	255	255	255	255	255	254	253	252	251	250
251	252	253	254	255	254							252	251	250
251	252	253	254	255	254		253	254	255	254		252	251	250
251	252	253	254	255	254		253	254	255	254		252	251	250
251	252	253	254	255	254		254	254	255	254		252	251	250
251	252	253	254	255	255		255	255	255	254		252	251	250
251	252	253	254	254	254							252	251	250
251	252	253	253	253	253	253	253	253	253	253	253	252	251	250
251	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	251	250
251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	251	250

Figura 3.9 – Resultado da força de contração.

Do mesmo modo que acontece com a força de expansão, também na força em análise são aplicados métodos concebidos com o intuito de anularem a retenção de pontos do contorno activo em regiões de uniformidade numérica no que se refere ao seu respectivo valor de energia potencial. Os métodos mencionados serão detalhadamente descritos na secção 3.3.4.

### 3.3 Metodologia

Nesta secção será apresentada uma completa descrição de toda a metodologia responsável pelo desenvolvimento da aplicação exposta na presente dissertação. É composta por cinco subsecções, as quais corresponderão a cada uma das diferentes fases do processo integral, apresentando-se sob a ordem pela qual foram desenvolvidas e se encontram aplicadas. A primeira, *pré-processamento*, descreve os diversos métodos de processamento de imagem de que foi alvo cada representação, isto é, cada imagem. Em seguida, a subsecção *demarcação* apresenta os métodos desenvolvidos com o intuito de facilitar a tarefa do utilizador aquando da demarcação dos limites das regiões em consideração. De referir que se trata de um suporte fundamental, tendo em conta a escassez de contraste verificado nas imagens com registo da orofaringe humana. Posteriormente, na subsecção *concepção do modelo* é feita uma exposição do modo como o modelo inicial foi concebido. É referido o conceito utilizado na sua concepção, assim como o desenvolvimento matemático responsável pela sua estrutura. A subsecção denominada *dinâmica* apresenta todo o processo associado à movimentação do próprio modelo. Desde a sua posição inicial até à posição que assume no final do processo iterativo. Será descrito igualmente todo o processo associado à respectiva energia interna, tendo em conta que se encontra suportado por uma completa reformulação que lhe permite identificar as diversas situações que possam requerer um ajuste na sua forma, sendo todo este processo influenciado apenas pelo coeficiente de flexibilidade, isto é, a dinâmica resultante do novo modelo deixa de depender da opção do coeficiente de flexibilidade uma vez que se encontra implicitamente definido pela estrutura definida para a implementação do modelo apresentado. Por último, na subsecção *cômputo* será apresentada uma análise ao algoritmo responsável pela determinação da região definida como resultado da estrutura final assumida pelo modelo. De salientar que se trata de um algoritmo desenvolvido como

de carácter geral, o que significa que poderá ser utilizado em qualquer outra aplicação de processamento de imagem que requiera a delimitação de regiões.

### 3.3.1. Pré – Processamento

A fase de pré-processamento, pretende tal como o indica, efectuar um conjunto de processamentos à imagem no sentido de criar um suporte adequado à colocação do modelo. O estágio final do suporte corresponde ao mapa da energia potencial o qual representará a energia externa do modelo. A fase em presente análise encontra-se estruturada com base em seis processos, sendo que cada um deles visa a aplicação do respectivo método com o objectivo de produzir a base de construção ao mapa da energia potencial o mais completo possível.



Figura 3.10 – Arquitectura da fase de pré-processamento.

A análise à figura 3.10 permite tomar conhecimento acerca dos processos constituintes da fase de pré-processamento, apresentando os mesmos pela ordem segundo a qual são aplicados. As subsecções que se apresentam em seguida descrevem a metodologia de cada um dos processos constituintes.

### 3.3.1.1. Realce de Contornos

A fase de pré-processamento inicia-se com a aplicação de um método concebido para intensificar o contraste da imagem, conseguindo-se por conseguinte um realce de contornos. Existem diversos métodos instruídos para a execução do referido contraste, donde após uma experimentação dos mesmos, concluiu-se que modelo de *Sobel* apresentava o resultado mais satisfatório. Trata-se de um modelo com matrizes de captação compostas por nove coeficientes correspondendo assim a um raio equivalente a uma vizinhança a oito, isto é, serão os oito *pixels* vizinhos do ponto em análise que serão parte constituinte da matriz de captação. A figura 3.11 ilustra a configuração das máscaras de captação bem como o valor dos seus respectivos coeficientes.

$$P_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \quad P_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix}$$

Figura 3.11 – Máscaras de captação segundo a direcção horizontal e vertical.

Com o intuito de transpor o conteúdo matricial de cada uma das máscaras de captação para uma exposição baseada na sua formulação, apresenta-se em 3.1 e 3.2 as expressões resultantes das matrizes de captação.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Figura 3.12 – Matriz de correspondência.

$$P_x = c + 2.f + i - a - 2.d - g \tag{3.1}$$

$$P_y = g + 2.h + i - a - 2.b - c \tag{3.2}$$

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} \tag{3.3}$$

Apresenta-se em seguida uma descrição do modo de funcionamento do operador acima representado. A análise ao mesmo permitirá perceber o modo como este actua.

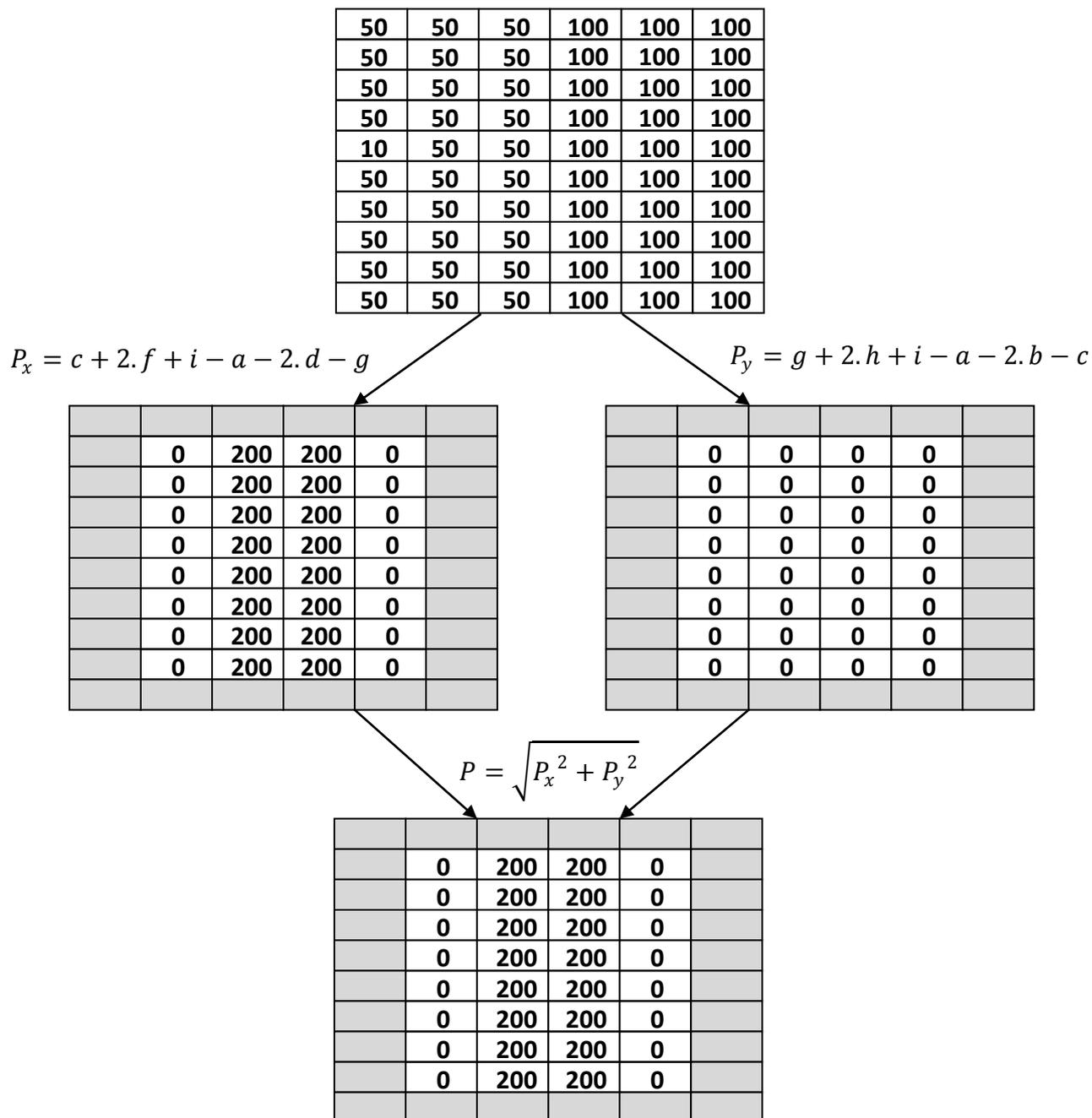


Figura 3.13 – Exemplificação do algoritmo de Sobel.

Deste modo, com recurso a um exemplo no qual se retrata uma janela de informação contida numa dada imagem, encontrando-se esta descrita através da intensidade dos *pixels* que a constituem, pretende-se demonstrar por um lado a simplicidade do operador, por outro evidenciar o seu desempenho. O resultado final da aplicação do algoritmo reflecte a aplicabilidade do mesmo na prática de realce de contornos. Na demonstração acima apresentada torna-se perceptível a alteração do valor de intensidades dos pontos que constituem a região demarcada, passando a mesma a ser definida com contraste absoluto. De notar que a intensidade dos *pixels* resultante da aplicação do método acima descrito se encontra limitada ao valor máximo considerando o intervalo correspondente a oito *bits*. A figura 3.14 apresenta o resultado prático da aplicação do método de *Sobel*, o qual permite identificar o respectivo realce dos contornos presentes na imagem original. De salientar que a falta de continuidade nos troços correspondentes aos contornos se deve apenas ao ténue contraste verificado. Contudo, ainda que se saiba que a identificação de contornos em zonas de fraco contraste representa uma tarefa exigente, a subsecção 3.3.1.3 apresenta um novo algoritmo concebido especificamente para suportar e melhorar o realce obtido pelo método de *Sobel*.

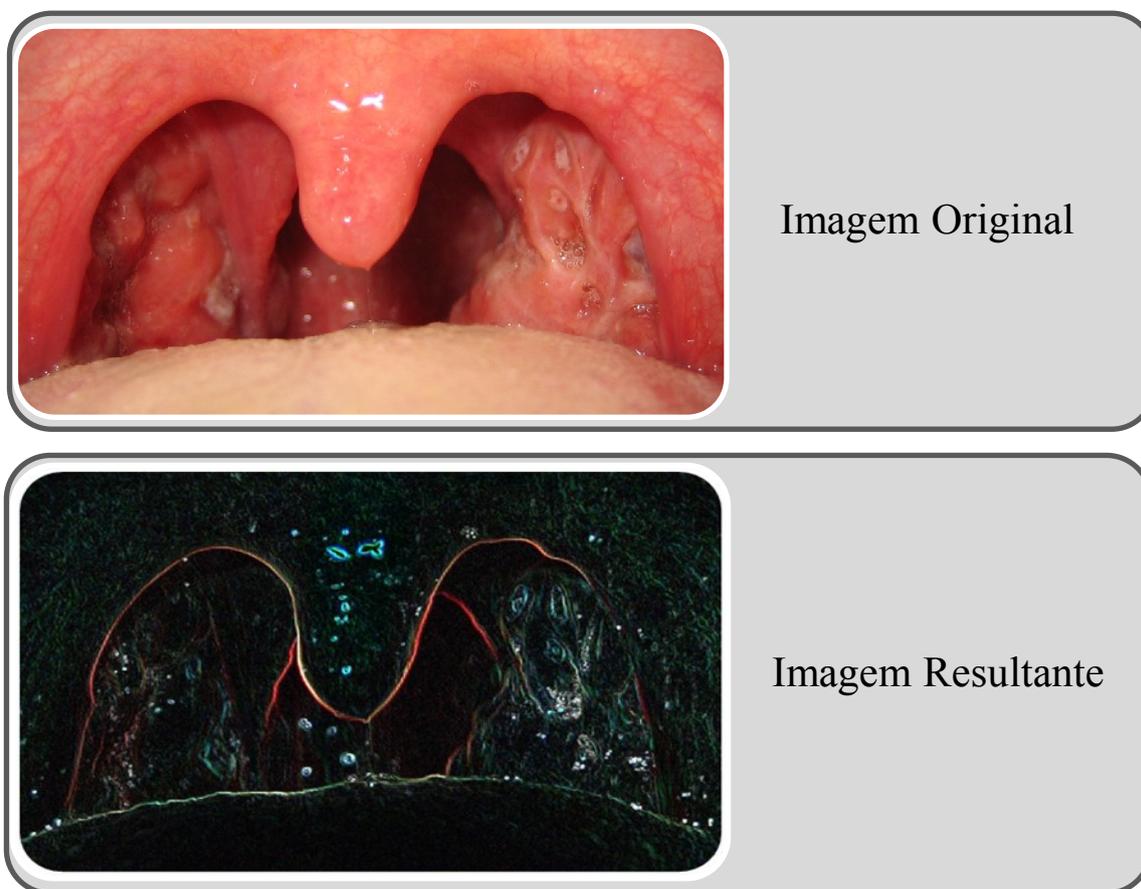


Figura 3.14 – Resultado da aplicação do método de *Sobel*.

### 3.3.1.2. Binarização Ponderada

A presente subsecção pretende descrever o processo desenvolvido com o intuito de converter a imagem para uma representação binária, isto é, condicionar a imagem a um formato composto por apenas dois níveis de intensidade.

Em termos conceptuais, a binarização da imagem é conseguida através de um processo de decisão, entenda-se comparação entre o valor da intensidade de cada *pixel* e um valor pré-definido, definido como valor de *threshold*. Existem actualmente diversos métodos para determinar o referido parâmetro, podendo este ser obtido de forma manual, onde se define explicitamente através de uma consideração pessoal ou através de um método automático. Considerando os métodos automáticos, no que se refere ao modo como definem autonomamente o valor de comparação, é de destacar o método de *Otsu*, o qual foi utilizado no processo de binarização aqui descrito.

Trata-se de um método cujo processo de cálculo se baseia na distribuição da intensidade dos *pixels* presentes numa dada imagem. Para o que requer a construção prévia do histograma da imagem. Este histograma permite o registo do número de ocorrências de cada intensidade, isto é, regista a abundância de cada um dos níveis de cinzento presentes numa imagem. De notar que o histograma é calculado com base numa imagem definida numa escala de cinzentos, duzentos e cinquenta e seis por exemplo, se se tratar de uma resolução a oito bits. A figura 3.15 visa apresentar um histograma de intensidades baseado numa janela de informação concebida apenas para efeito de demonstração, cujos níveis de intensidades se apresentam num intervalo definido a quatro bits.

1	3	2	5	8	8
5	0	4	15	12	11
12	8	12	4	5	5
7	12	0	1	1	1
9	3	12	11	8	0
2	2	14	9	13	11
4	12	6	14	7	0
9	0	0	13	3	6
5	7	5	9	11	5
3	14	4	5	12	12

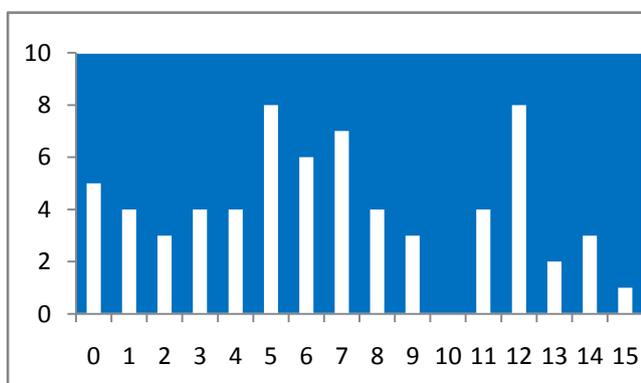


Figura 3.15 – Histograma associado ao conteúdo de informação.

Assim, com base no histograma da imagem, o algoritmo de *Otsu* fará uma análise da distribuição dos *pixels* procedendo à separação dos níveis em dois grupos, baseando-se nessa mesma separação no conceito de homogeneidade, ou seja, a divisão dos conjuntos será concebido para que sejam o mais homogêneo possível. Deste modo será avaliada a variância de cada conjunto, alcançando-se a separação aquando da obtenção do valor de variância mínima.

Pretende-se em seguida apresentar o suporte matemático requerido para o cálculo da variância conjunta, bem como o valor de variância de cada um dos conjuntos. Considera-se a probabilidade de cada conjunto como o somatório da probabilidade de cada ocorrência.

$$q_1(t) = \sum_{i=1}^t P(i) \quad (3.3)$$

$$q_2(t) = \sum_{i=t+1}^I P(i) \quad (3.4)$$

Onde  $q_1$  define a probabilidade do conjunto de *pixels* para o qual se verifica que  $i \leq t$ , do mesmo modo que  $q_2$  representa a probabilidade do grupo de *pixels* para o qual a condição  $i > t$  se verifica. Sendo a variância de cada um dos dois conjuntos obtida com base no valor de probabilidade de cada conjunto, bem como no valor médio de cada um e ainda pela probabilidade de cada uma das ocorrências consideradas.

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=1}^t [i - \mu_1(t)]^2 \cdot \frac{P(i)}{q_1(t)} \quad (3.5)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^t \frac{i \cdot P(i)}{q_1(t)} \quad (3.6)$$

$$\sigma_2^2 = \sum_{i=t+1}^I [i - \mu_2(t)]^2 \cdot \frac{P(i)}{q_2(t)} \quad (3.7)$$

$$\mu_2 = \sum_{i=t+1}^I \frac{i \cdot P(i)}{q_2(t)} \quad (3.8)$$

Assim, o valor da variância conjunta será obtido através da adição entre a variância de cada um dos conjuntos, sendo cada uma associada à sua respectiva probabilidade, isto é, ponderada com base na probabilidade do grupo a que correspondem.

$$\sigma_w^2(t) = q_1(t) \cdot \sigma_1^2(t) + q_2(t) \cdot \sigma_2^2(t) \quad (3.9)$$

Deste modo, o objectivo do algoritmo de *Otsu* será identificar um valor de  $t$  que minimize a variância conjunta, onde  $t$  representa o valor de *threshold*, isto é, o valor

responsável pela divisão dos dois grupos. De notar que  $t$  corresponderá a um dos valores de intensidade contidos no intervalo definido pela respectiva resolução.

A presente subsecção intitula-se de *binarização ponderada* tendo em conta que se trata de uma binarização efectuada com base na análise do conteúdo da imagem alvo do respectivo processo de binarização. Refira-se que o valor definido para estabelecer o nível de intensidade responsável pela divisão dos dois conjuntos de pontos, representa um dado obtido através da análise efectuada à respectiva imagem por parte do algoritmo de *Otsu*. A figura 3.16 apresenta o resultado gráfico da aplicação do processo de binarização cujo valor de divisão foi obtido através do valor de  $T_{threshold}$ .



Figura 3.16 – Aplicação do processo de binarização.

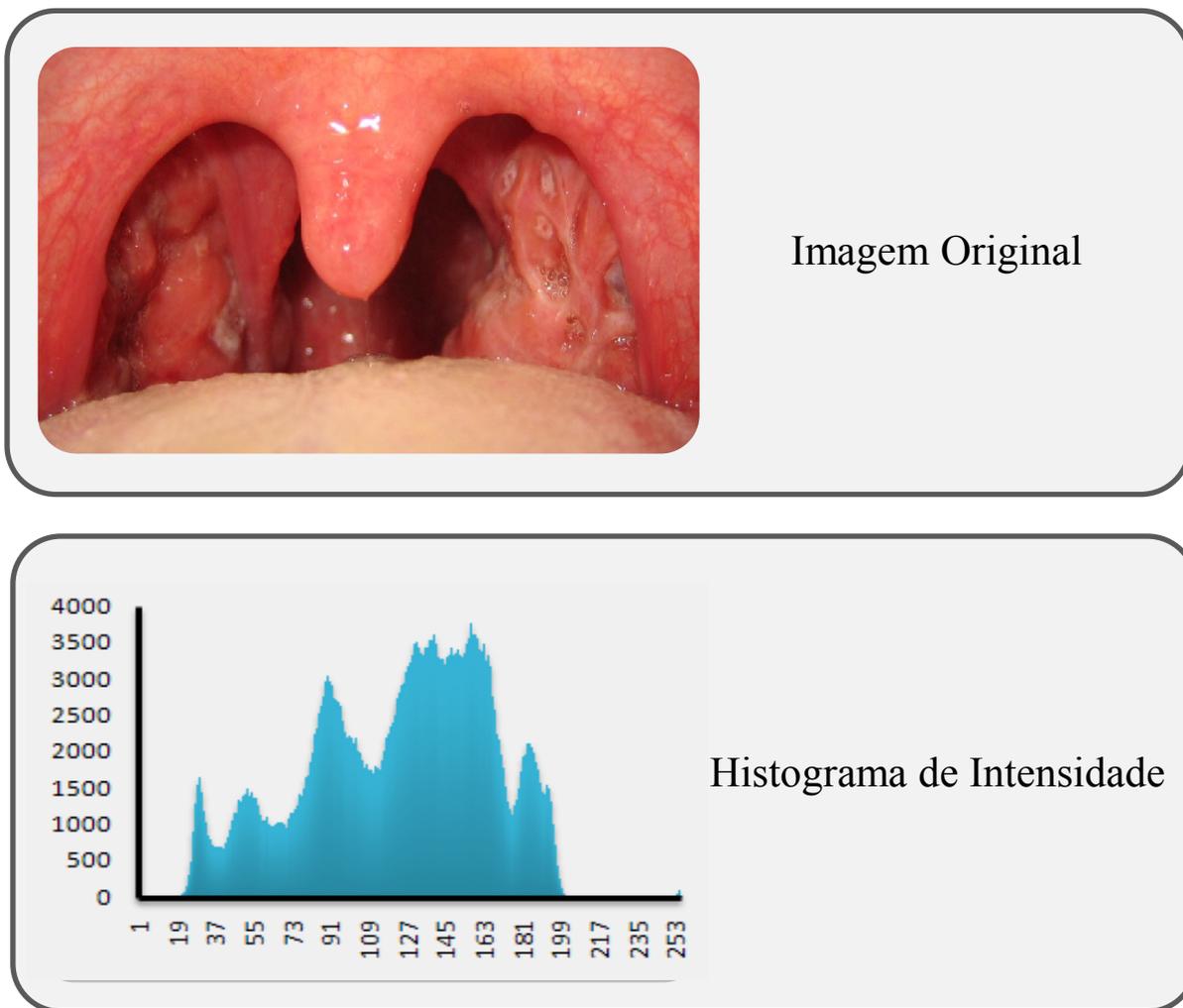
### 3.3.1.3. Equalização do Histograma

A presente subsecção apresenta o processo responsável pela transformação cromática da imagem concebido com o intuito de melhorar o seu contraste.

A consecutiva análise e interpretação de inúmeras imagens representativas do motivo característico, permitiu concluir que as mesmas padeciam de uma ausência de contraste. Assim, tornou-se necessária a idealização e desenvolvimento de um processo que garantisse uma melhor demarcação das diversas regiões presentes nas respectivas imagens, ou seja, que estabelecesse um relevante padrão de contraste. Deste modo, a equalização do histograma revelou-se como sendo o processo mais adequado à concretização do objectivo definido garantindo dessa forma o papel de método seleccionado para a execução do mesmo. De referir que a equalização do histograma permite um notável melhoramento no contraste de uma dada imagem tendo em conta o conceito que aplica.

O histograma de intensidades permite uma visualização gráfica da distribuição cromática estabelecida pelos *pixels* constituintes de uma determinada imagem. A sua construção é concebida com base na análise do nível de intensidade de cada um dos pontos referidos e conseqüente valor de ocorrência. A figura que seguidamente se apresenta permite observar a correspondência entre uma dada imagem e o respectivo histograma de intensidade, sendo que uma breve observação do mesmo permitirá concluir que se trata de uma imagem de fraco contraste, tendo em conta a sua distribuição.

De referir, que posteriormente à figura 3.17 se encontra uma descrição sobre o processo de equalização do histograma, identificando-se e demonstrando-se a vantagem da sua implementação como ferramenta de melhoramento de contraste.



**Figura 3.17 – Histograma de Intensidade.**

Importa assim descrever todo o processo de equalização do respectivo histograma.

Em termos conceptuais, descrevendo o suporte matemático que permite a construção do gráfico apresentado, o histograma de intensidade é definido com base na equação 3.10.

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad (3.10)$$

Sendo  $r$  um valor compreendido entre zero e um, isto é,  $r \in [0,1]$  e  $k$  definindo o índice do nível referenciado, donde,  $k \in [0, N - 1]$ , com  $N$  a representar o número de níveis passíveis de representação.

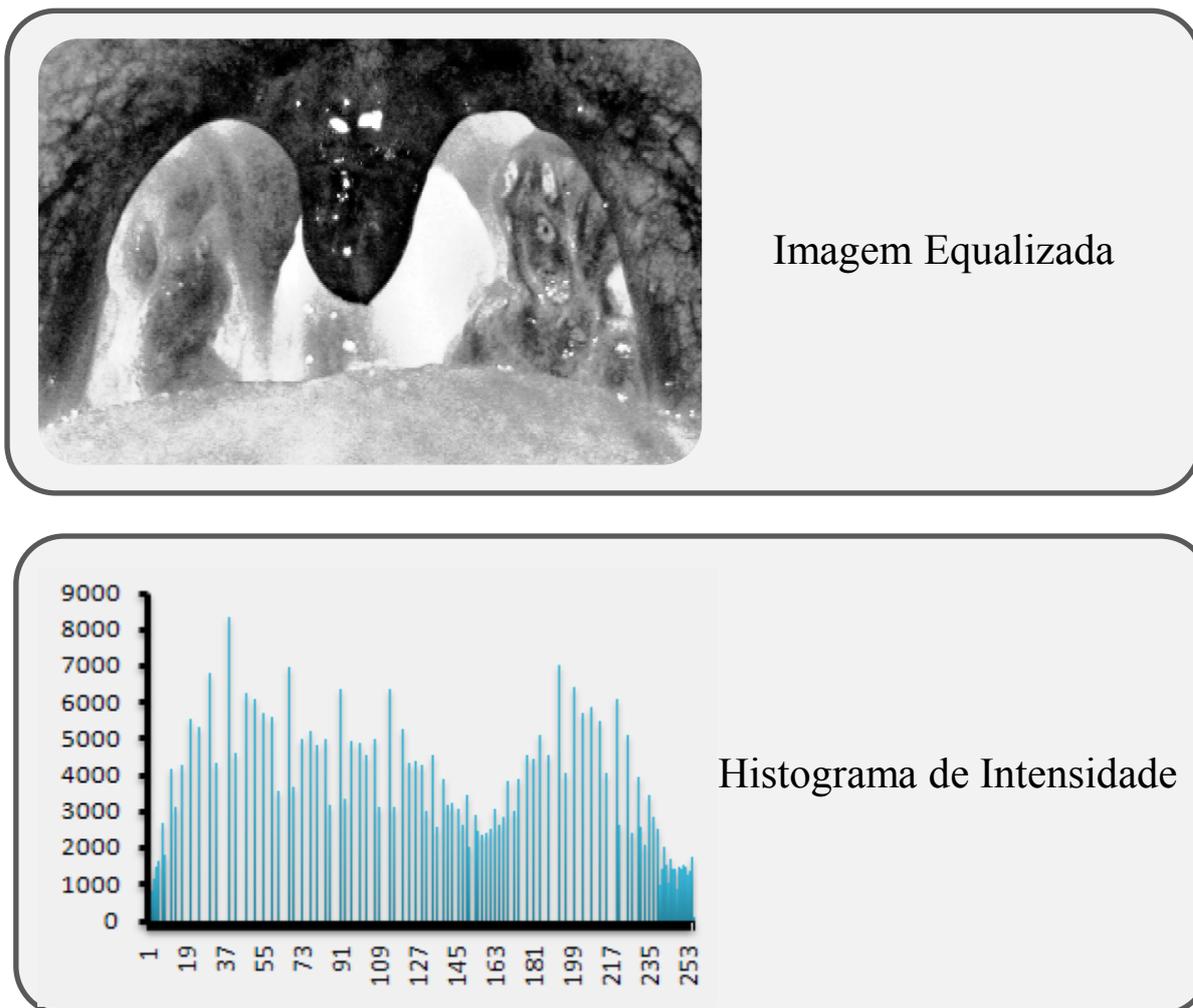
Descrevendo os restantes elementos,  $p_r(r_k)$  define a probabilidade de ocorrência do nível de índice  $k$ ,  $n$  representa o número total de *pixels* constituintes da respectiva imagem, ou seja, define de igual modo a resolução da mesma e por último  $n_k$  representa o número de ocorrências do nível de índice  $k$ . De notar que o histograma contido na figura 3.17 tem como base a relação directa entre o número de ocorrências e o respectivo nível, não se tratando desse modo de um histograma normalizado e baseado na probabilidade associada a cada nível definido.

O objectivo seguinte define-se como o cálculo da probabilidade acumulada, isto é, a função cumulativa de probabilidade, determinada através do uso da expressão apresentada em 3.11.

$$s_k = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} = \sum_{i=0}^k p_r(r_i) \quad (3.11)$$

A função cumulativa de probabilidade permite o cálculo do valor acumulado de probabilidade para cada nível de intensidade suportado. Deste modo, o valor de  $s_k$  será responsável pela concepção da imagem equalizada, redefinindo o valor de ocorrências para cada nível de intensidade.

De notar que se encontra disponível no anexo C uma demonstração pormenorizada do processo de equalização de histograma aplicado à imagem original apresentada na figura 3.17. O nível de minuciosidade da demonstração permitirá a análise dos quadros de valor da função acumulativa de probabilidade para cada nível de intensidade, bem como a apresentação do quadro de registo da redefinição do número de ocorrências para cada nível de intensidade, isto é, a resultante do computacional do processo de equalização. A figura 3.18 apresenta o resultado prático da aplicação do conceito em presente descrição. Sendo que a observação do histograma de intensidades da imagem equalizada apresenta um formato consideravelmente diferente do apresentado referente à imagem original. A diferença tem que ver exactamente com a ocupação do espectro de intensidades que neste caso passa a apresentar um registo mais disperso e menos contínuo no que se refere aos níveis de intensidade, ao contrário do que sucede com o histograma associado à imagem original.



**Figura 3.18 – Histograma de Intensidade da imagem equalizada.**

Através da análise da figura 3.18 é possível verificar o notável incremento de contraste aplicado à imagem original por aplicação do processo de equalização de histograma. O aumento de contraste verificado encontra-se registado no histograma associado, o qual é agora caracterizado pelo espaçamento espectral que apresenta, isto é, o conjunto de níveis para os quais o valor de ocorrência é nulo, o mesmo que dizer a sua probabilidade de ocorrência, assume agora uma dimensão superior, possuindo assim mais elementos, neste caso entenda-se níveis de ocorrência nula. Pretende-se assim demonstrar a importância da aplicação do método apresentado recorrendo à comparação entre o mapa de intensidade produzido com base nas duas imagens supra referenciadas, entenda-se a imagem original e a imagem equalizada. A referida demonstração tem por base a aplicação do algoritmo de realce de contornos apresentado na subsecção 3.3.1.1. Deste modo, verificar-se-á o resultado da aplicação do mesmo a cada uma das diferentes imagens, sendo que o contorno identificado na imagem equalizada apresenta uma notoriedade evidentemente superior ao

registado na imagem original. Assim, entende-se como de elevada utilidade a aplicação do processo de equalização de histograma para melhoramento de contraste tendo em conta os resultados obtidos, os quais se encontram patentes na figura 3.19. Esta apresentará duas imagens, sendo a que se encontra em posição superior a resultante da aplicação do método de *Sobel* à imagem original, e a inferior da aplicação do mesmo método à imagem equalizada.

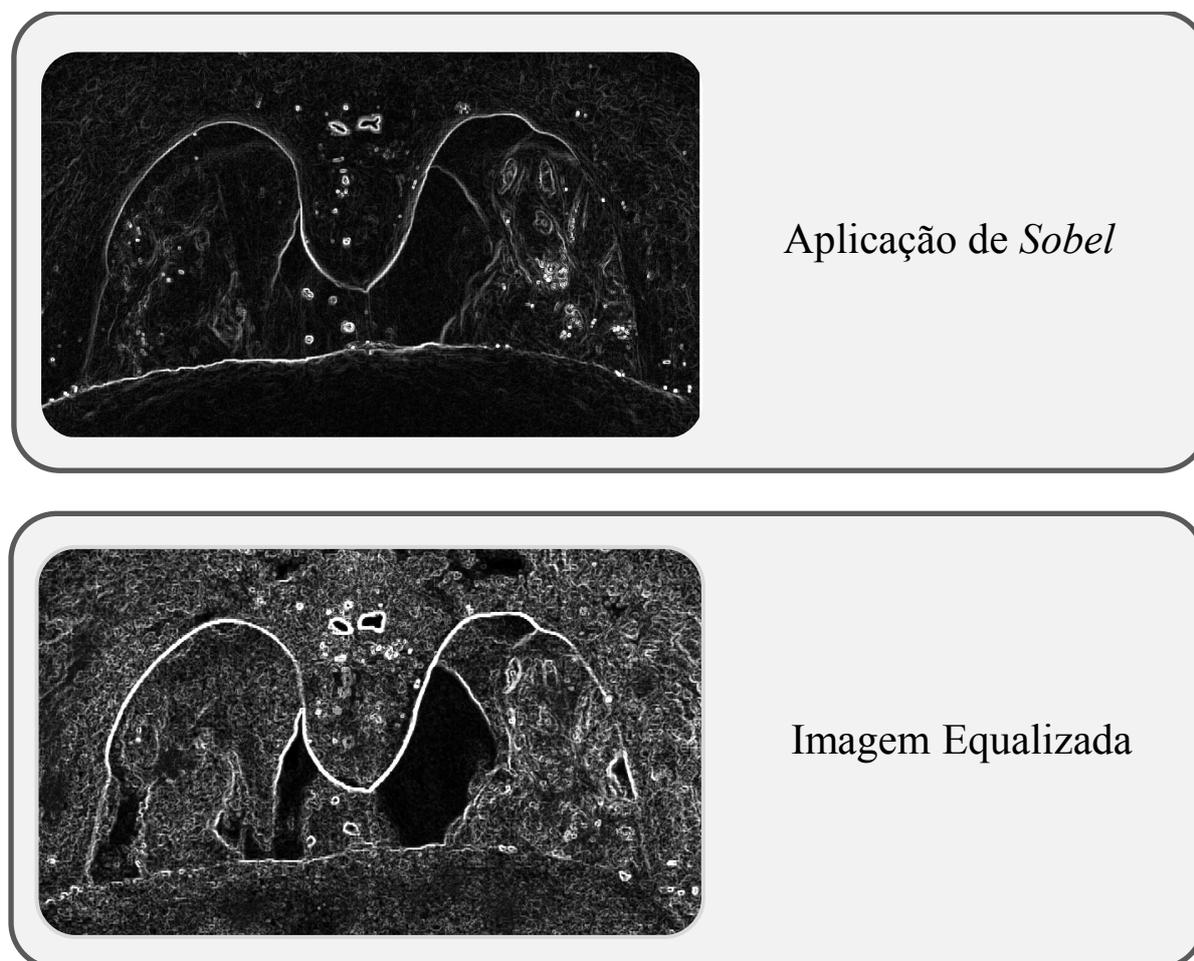


Figura 3.19 – Comparação entre o método de *Sobel* e a equalização de histograma.

#### 3.3.1.4. Sobreposição de *Bitmaps*

A presente subsecção descreve o processo responsável pela optimização do suporte à concepção do mapa de energia potencial. Trata-se de um método cuja capacidade permite um significativo melhoramento na identificação do contorno da estrutura em análise.

A denominação atribuída ao referido processo sustenta o propósito do mesmo. Relativamente à metodologia da sobreposição de *bitmaps*, importa referir que se define como o processo de adição relativamente à intensidade cromática de cada um dos *pixels* presentes nas respectivas imagens, neste caso tratando-se de duas. A primeira imagem é concebida com base na equalização do histograma de intensidade da imagem original, representando portanto a resultante da sua aplicação sendo esta intitulada de *highContrast*. A segunda imagem, denominada de *edgeBitmap*, resulta da aplicação do método de realce de contornos apresentado na presente dissertação, tratando-se assim de um mapa de contornos sem qualquer pré-processamento, ao contrário da primeira imagem que utiliza o método de equalização de histograma visando um melhoramento do contraste da imagem original. Deste modo, após a concepção dos dois *bitmaps* mencionados, procede-se à aplicação de um algoritmo concebido para efectuar a sobreposição dos mesmos, fornecendo um mapa de intensidades mais completo do que qualquer um dos *bitmaps* usados separadamente. A idealização e desenvolvimento do processo descrito resultam da conclusão obtida através da análise isolada sobre cada um dos *bitmaps*, verificando-se que existia informação presente em apenas um deles, donde, a aplicação do método denominado por sobreposição de *bitmaps* permitiu a criação de uma único *bitmap* cujo conteúdo resulta da informação contida nos dois *bitmaps* considerados.

A figura 3.20 apresenta a metodologia do algoritmo desenvolvido com o intuito de proceder à respectiva sobreposição de *bitmaps*, sendo o mesmo denominado por *addInfo*.

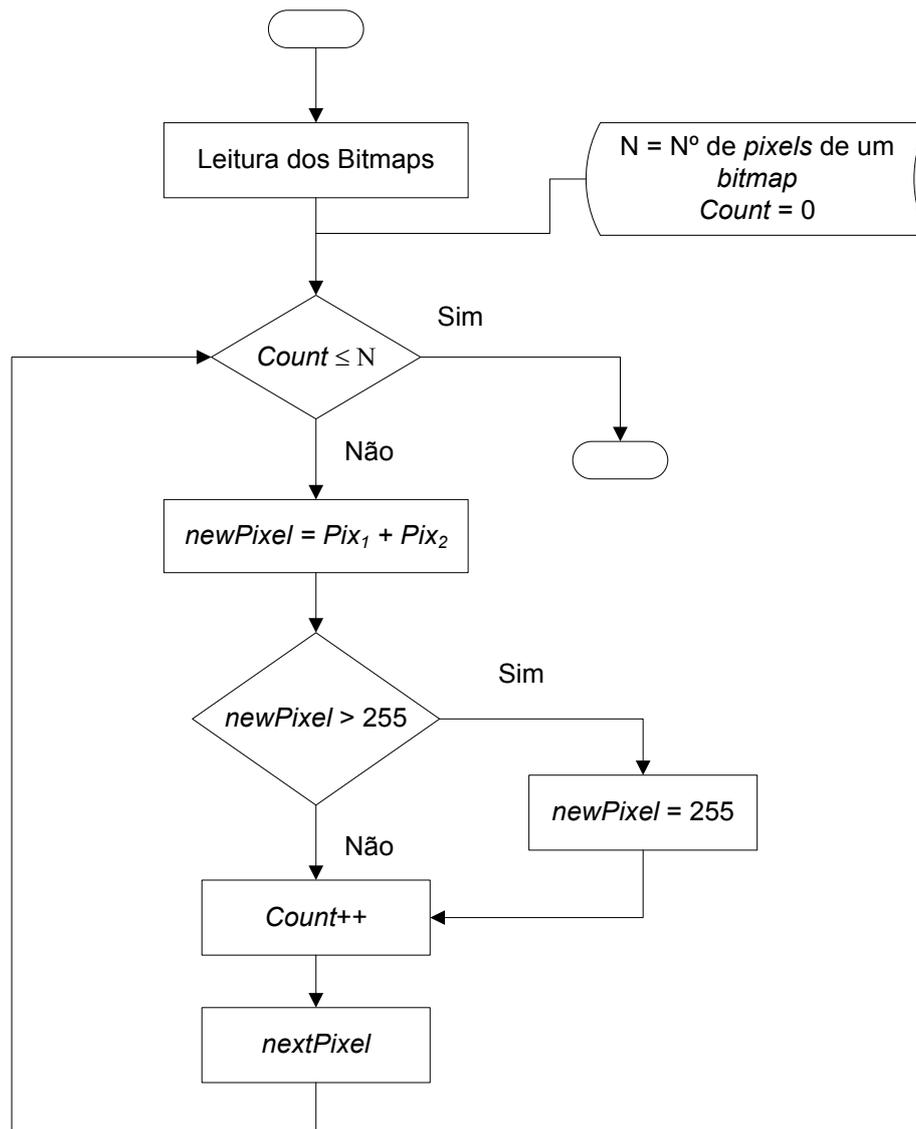


Figura 3.20 – Fluxograma do algoritmo *addInfo*.

De acordo com o que se encontra representado através da figura 3.20, o algoritmo *addInfo* dispõe de um controlo de saturação de intensidade. Assim, qualquer adição de componentes que resulte num valor superior a duzentos e cinquenta e cinco, será automaticamente restringido ao valor máximo permitido, neste caso duzentos e cinquenta e cinco tendo em conta que se trata de uma resolução a oito *bits*.

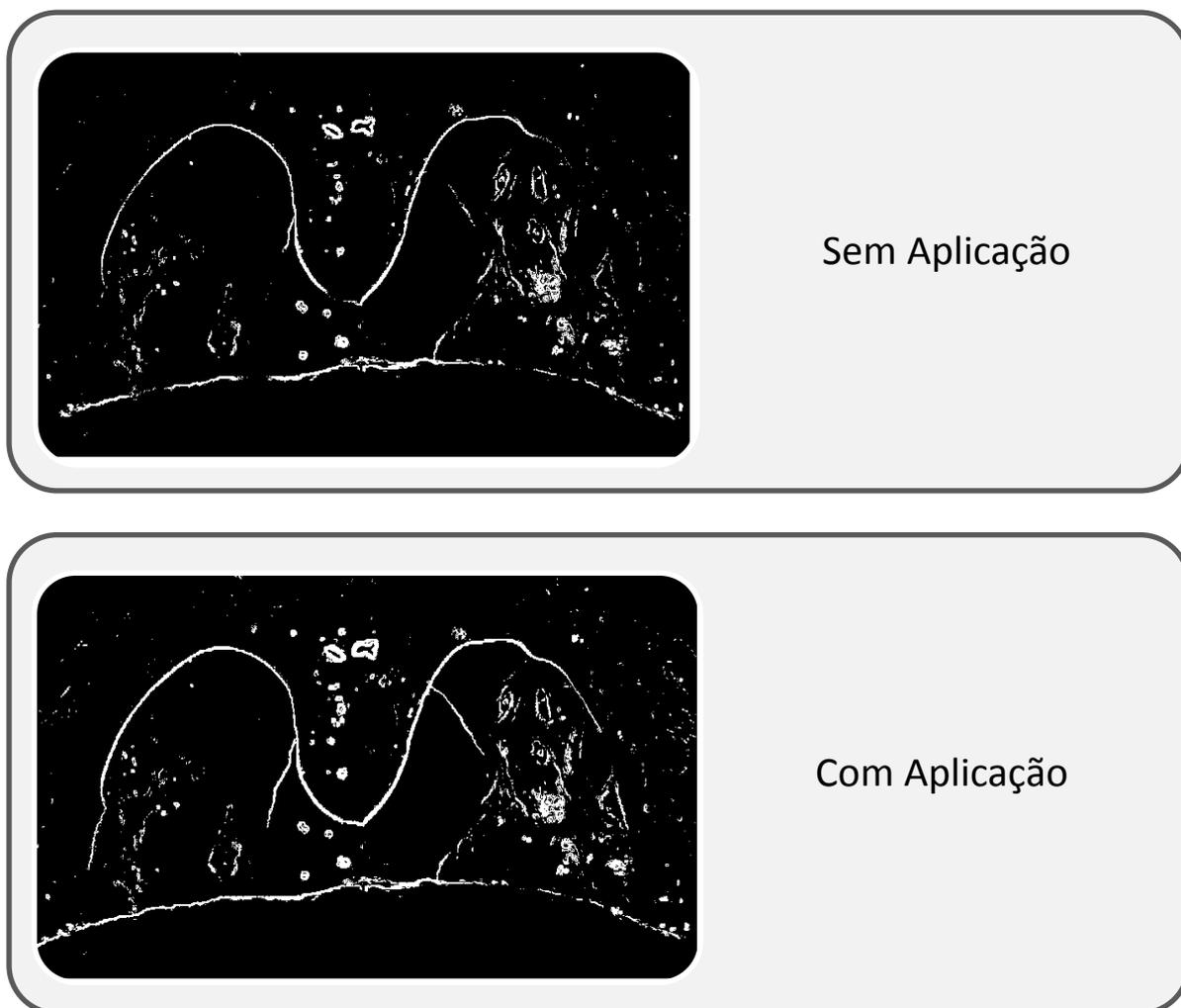


Figura 3.21 – Resultado da aplicação do algoritmo *addInfo*.

### 3.3.1.5. Supressão de Ruído

A presente subsecção pretende descrever a metodologia associada ao processo de remoção de ruído presente na imagem no seu estado binário. Neste caso, identifica-se como ruído qualquer ponto não pertencente a uma determinada linha de contorno que se encontre com a intensidade máxima. Assim, com base na necessidade de filtrar o ruído presente foi idealizado e posteriormente concebido um algoritmo que permitisse suprimir a presença de pontos não pertencentes à imagem e que se encontrassem destacados na mesma. O algoritmo criado obteve a designação de *noiseFilter*.

Encontra-se exposta na figura 3.22 a respectiva arquitectura do referido algoritmo através de um fluxograma, cuja descrição de cada módulo encontrar-se-á apresentada seguidamente, sob o formato sequencial.

Após detectar o primeiro *pixel* com intensidade máxima, o algoritmo executa as seguintes tarefas:

- Enquanto detectar *pixels* de intensidade máxima à direita do ponto detectado
  - Regista o ponto.
  - Percorre os pontos à esquerda do respectivo *pixel*, adicionando os mesmos a uma tabela desde que estes apresentem igualmente a intensidade máxima.
  - Regista a posição da coluna do ponto mais à esquerda.
  - Verifica a partir do ponto inicial se existem vizinhos na linha abaixo e à esquerda, centro ou direita.
  - Se existir vizinho, isto é, se existir continuidade, guarda a posição da sua coluna tendo em conta que será a partir da mesma que dará início a um novo ciclo; se não existir continuidade, verifica se existem vizinhos a partir do *pixel* mais à esquerda, o qual se encontra previamente identificado.
  - Se ainda assim se se verificar a ausência de continuidade, o algoritmo procederá a uma nova busca a partir da coluna dos pontos mais à esquerda das quatro linhas anteriores. Para tal é feito um registo da posição da coluna dos pontos mais à esquerda registados nas últimas quatro linhas processadas.
  - Em último recurso iniciará uma busca de continuidade a partir da posição da coluna dos pontos mais à direita das quatro linhas anteriores, de notar que o registo da posição dos pontos mais à direita é executado de modo a conter informação sobre as últimas quatro linhas anteriores.
  
- Perante a situação de ausência completa de continuidade, após a aplicação dos processos de busca, o algoritmo verificará se o número total de pontos encontrados é superior a um dado valor predefinido:
  - Caso seja, considerar-se-á os pontos registados como pontos pertencentes às linhas de contorno, sendo os mesmos configurados com o nível de intensidade unitário, isto é, etiquetados com o nível unitário para evitar que sejam novamente alvo de análise durante um outro processo de busca, melhorando sobremaneira a performance do algoritmo.

- Caso verifique que o número de pontos registados é inferior ao valor de *threshold*, estes serão eliminados, isto é, configurados com a intensidade mínima.

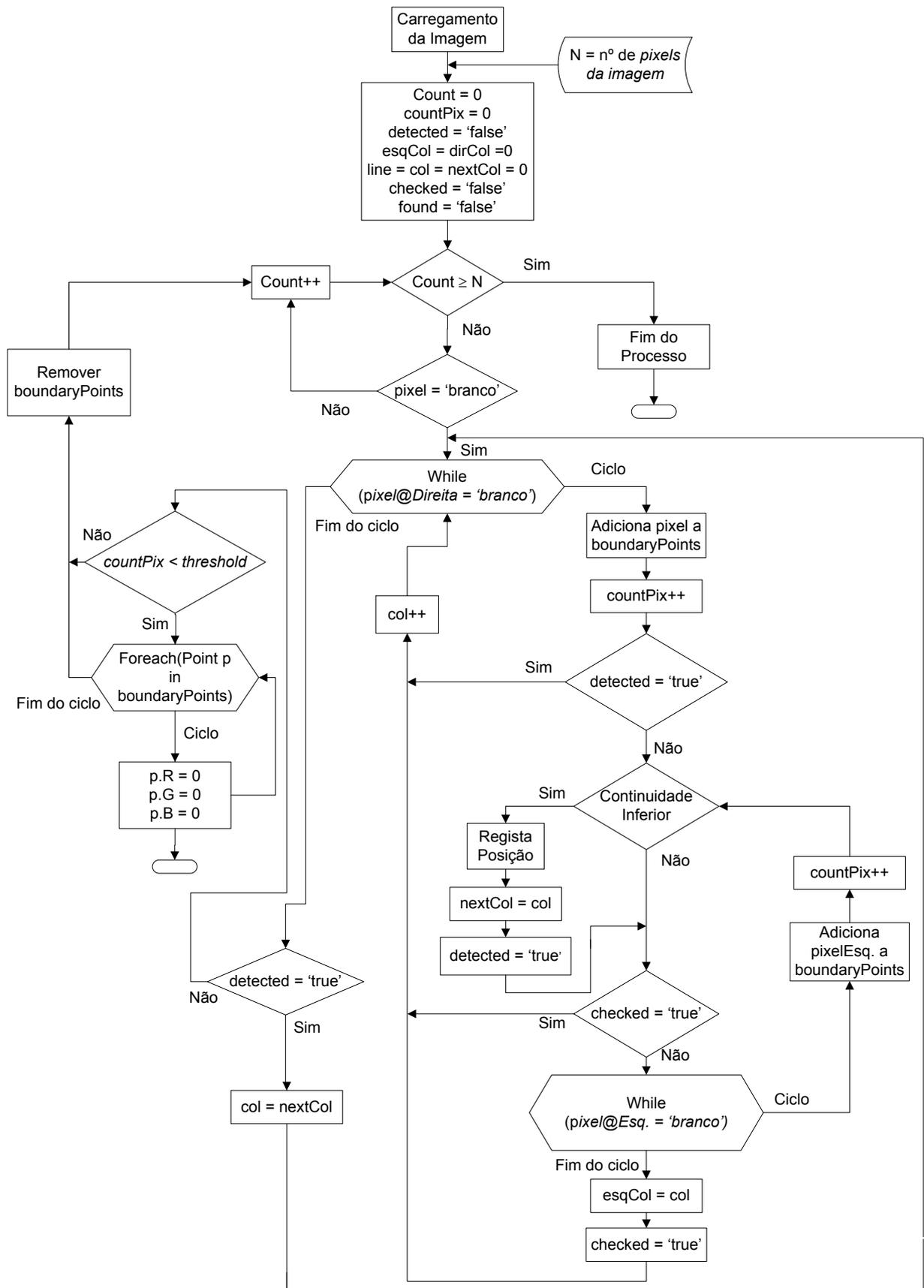


Figura 3.22 – Arquitectura do algoritmo *noiseFilter*.

Deste modo, poder-se-á considerar um algoritmo cujo funcionamento se baseia no conceito de continuidade, percorrendo e registando todos os pontos contíguos. Se o número total de *pixels* identificados for inferior a um determinado valor, o algoritmo considerará os mesmos como ruído eliminando-os prontamente. De referir que se trata de uma arquitectura absolutamente configurável, ou seja, o valor ponderado para avaliar o conjunto de pontos, considerando-os ou não como ruído é totalmente variável.

A figura 3.23 permite observar a diferença clara como resultado da aplicação do algoritmo *noiseFilter*.

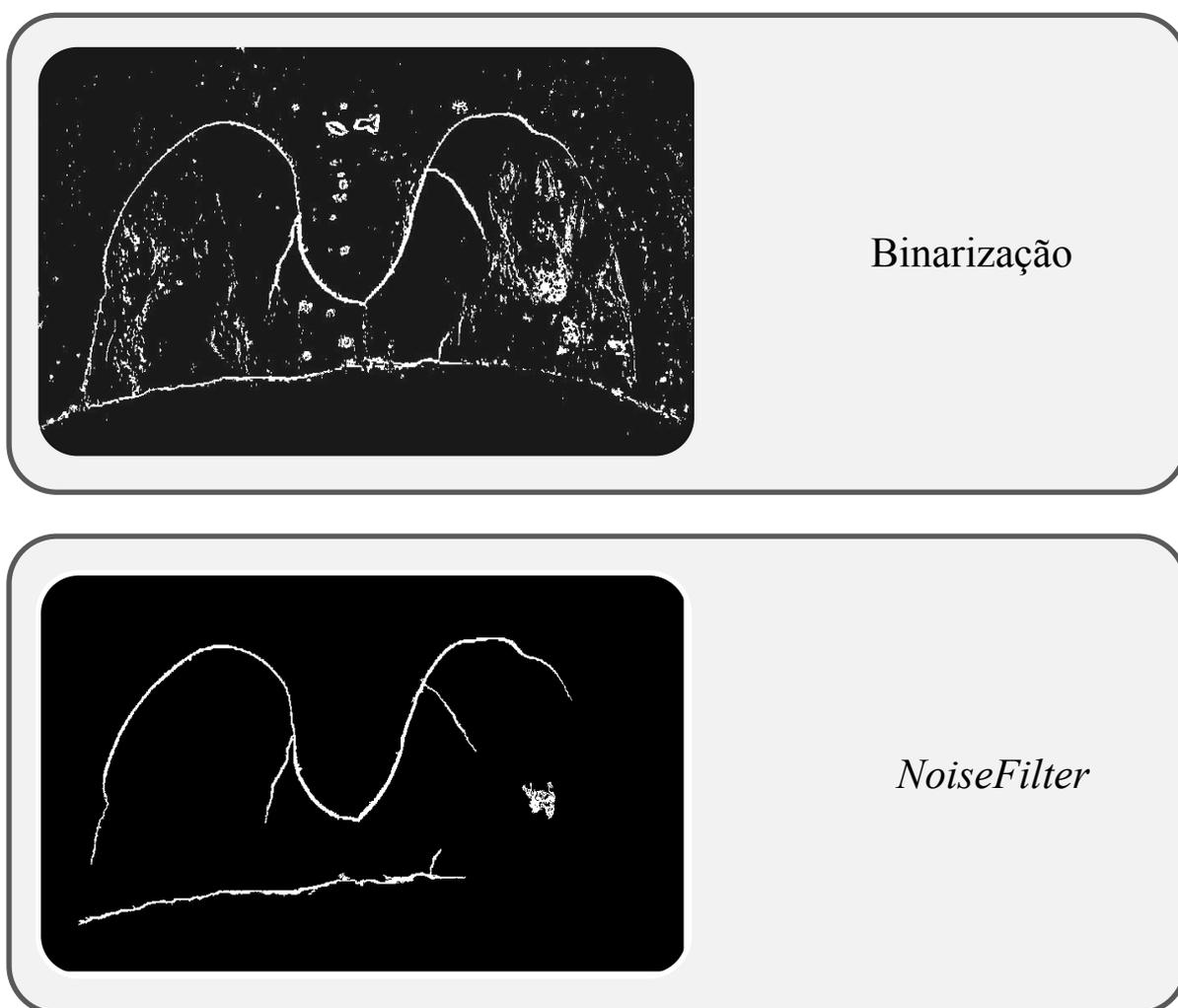
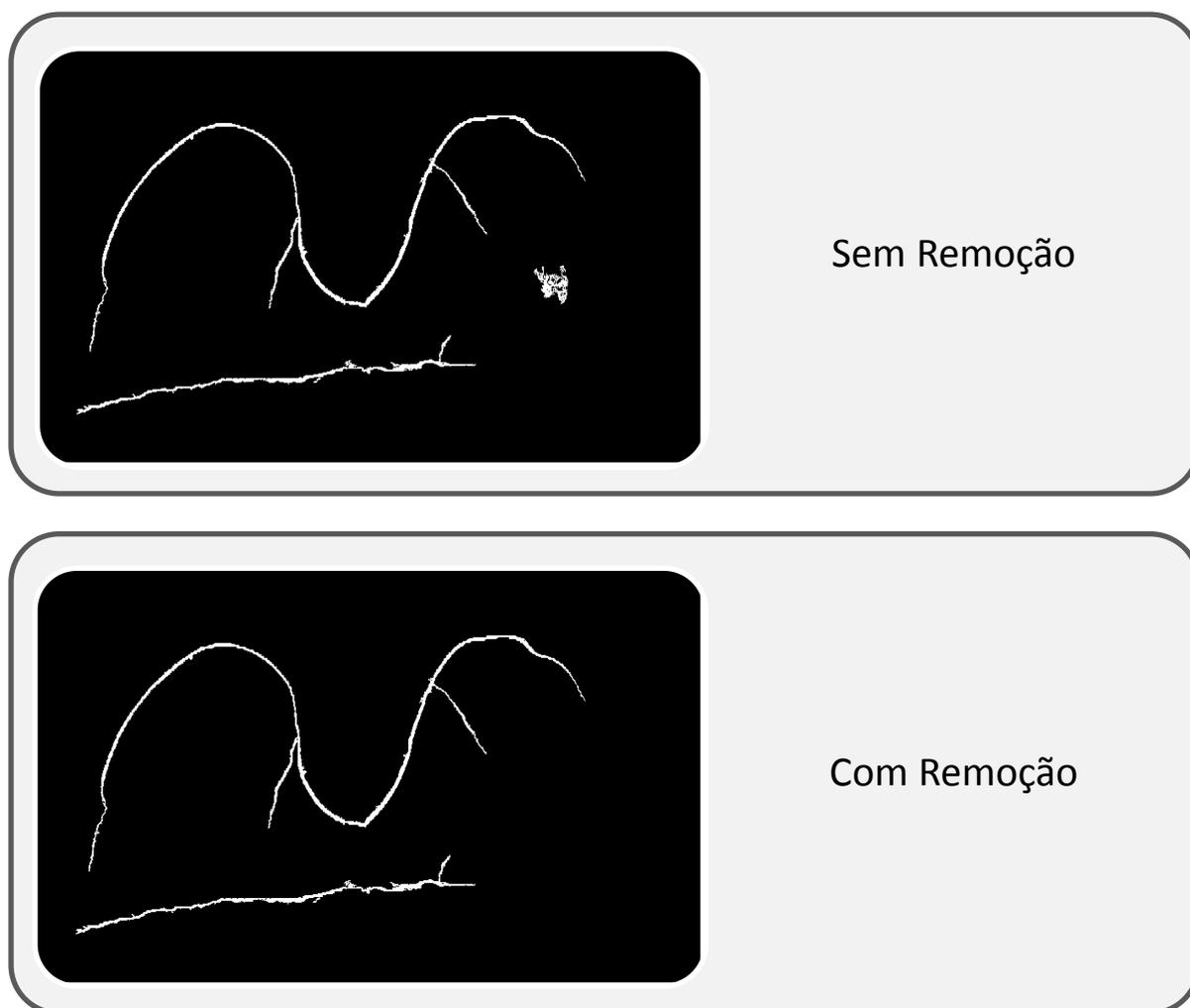


Figura 3.23 – Resultado da aplicação do algoritmo *noiseFilter*.

A aplicação do algoritmo apresentado na subsecção anterior revelou-se como sendo de grande importância. Porém, perante determinados mapas binarizados, o método apresenta uma pontual incapacidade para a correcta correcção e respectiva supressão do ruído presente. De referir que a incapacidade mencionada se deve exclusivamente ao facto da interpretação efectuada pelo algoritmo, uma vez que em situações muito pontuais, ou seja, em zonas em que o aglomerado de ruído define estruturas semelhantes a ilhas, considerar como parte constituinte do contorno as referidas ilhas; tendo em conta o seu número elevado de *pixels*. Este factor motivou o desenvolvimento de um método capaz de eliminar por completo as zonas de ruído descritas. O método criado permite a eliminação das ilhas de ruído através da interpretação e respectiva selecção por parte do utilizador.

Basicamente, o utilizador dispõe de uma ferramenta que possibilita a selecção da região que pretende apagar. Deste modo permite-se ao utilizador efectuar a supressão daquilo que considerar como ruído, entenda-se aglomerado de pontos de intensidade máxima não pertencentes ao contorno da estrutura alvo de identificação, possibilitando assim a concepção de um mapa de energia potencial isento da influência dos mesmos, impedindo assim a atracção do modelo por parte dos referidos pontos. Deste modo, impede-se a retenção do modelo nas regiões mencionadas, também designadas por vales ou mínimos locais. De notar que a designação de mínimo local se refere à energia externa que se encontra definida como sendo o valor negativo da energia potencial.



**Figura 3.24 – Resultado da aplicação do método de remoção de *Ilhas*.**

Apesar da sua simplicidade o método desenvolvido assume uma elevada importância para a concepção do mapa potencial. Note-se que as ilhas consideradas como sendo ruído, de utilidade nula para o cálculo do mapa da energia potencial da imagem, afectam significativamente o mapa potencial, uma vez que provocam uma alteração no respectivo mapa. Tratam-se igualmente de pontos de energia potencial máxima os quais farão atrair o contorno activo perante a sua proximidade. Deste modo, considera-se o método descrito como muito importante uma vez que permite um mapa de energia potencial adequado e livre de influências indesejáveis, isto é, criação de vales no mapa de energia de atracção, entenda-se potencial.

### 3.3.1.6. Mapa Potencial

O mapa potencial representa aquele que se considera como o processo mais importante na fase de pré-processamento. Não que os anteriores se considerem dispensáveis, contudo, o mapa da energia potencial representa o suporte fundamental para a dinâmica do contorno activo. Trata-se da componente representativa da energia externa do modelo, sendo responsável por atrair e conduzir o mesmo em direcção aos contornos extraídos através da fase de pré-processamento. Assim, permite-se a imediata conclusão de que a referida atracção será tanto mais qualificada quanto mais completo for o mapa de intensidade utilizado para a construção do mapa potencial.

A figura 3.25 ilustra o mapa potencial relativo à imagem original considerada, tendo como base o mapa de intensidade resultante da aplicação do algoritmo apresentado na secção anterior, entenda-se *noiseFilter*.

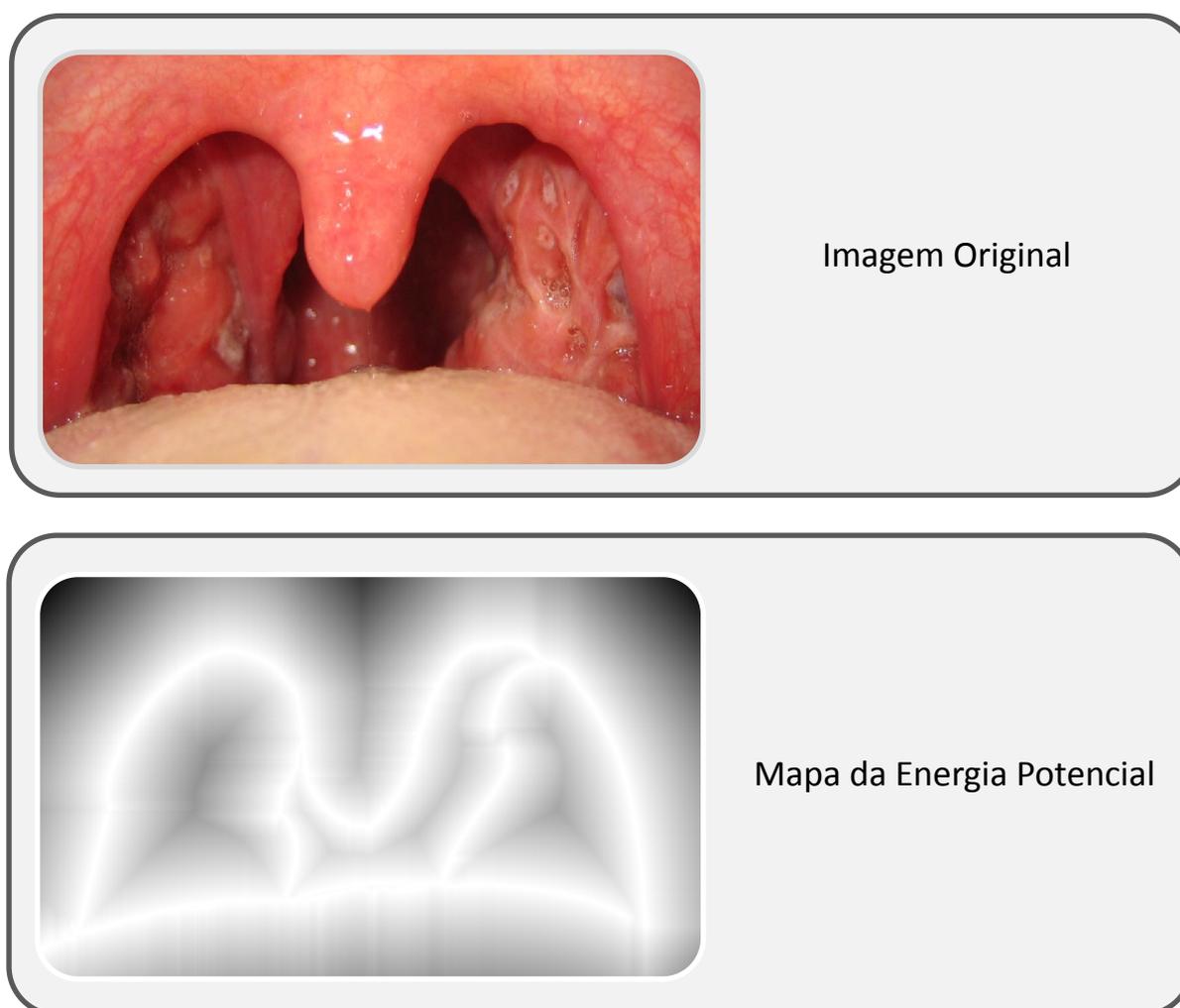


Figura 3.25 – Demonstração do mapa da energia potencial.

### 3.3.2. Demarcação

O processo de demarcação visa disponibilizar um controlo total sobre o modo como os contornos presentes na imagem são extraídos. Pretende suprimir o condicionalismo resultante da ausência de contraste verificado nas imagens processadas, permitindo a correcta identificação dos mesmos através de um suporte gráfico baseado em modelos matemáticos. Assim, encontra-se disponível uma ferramenta que permite a imposição artificial de contraste nas zonas em que este não se verifique, sendo a ausência do mesmo determinante na incapacidade do modelo identificar as respectivas zonas, tendo em conta que se apresenta como uma tarefa praticamente inexecutável a avaliação do contraste numa zona onde este não se verifique.

Deste modo, concluiu-se que a solução passaria pela utilização de um modelo de elevada flexibilidade e simplicidade na sua computação. Deste modo, com base na referida pretensão encontrou-se nas curvas de *Bézier* as características necessárias. Trata-se de curvas que permitem definir o seu grau de flexibilidade através do grau do polinómio que definem, sendo o seu processamento considerado pouco exigente em termos computacionais. De salientar que se encontra no capítulo dois uma descrição sobre a concepção das curvas de *Bézier*.

De referir a existência de um modo de demarcação, o modo *SpanMode*. Este modo permite a definição do contorno através de troços, tendo sido criado com o intuito de reforçar zonas de fraco contraste, conseguindo assim um reforço inteiramente localizado. A próxima subsecção apresenta o modo desenvolvido.

#### 3.3.2.1. *Span Mode*

O modo *spanmode* foi criado com o intuito de possibilitar a demarcação de contornos em zonas de baixo contraste sem a necessidade de construção de um modelo fechado. Deste modo, garante-se a criação de um contraste artificial através da introdução de uma ou mais curvas de *Bézier*, não necessitando estas da respectiva união.

Revela-se assim uma funcionalidade de grande utilidade para situações de reforço de contraste, permitindo inclusive a continuidade de linhas de contraste que se encontrem

separadas por se situarem em regiões de fraca heterogeneidade cromática, sendo esta a principal razão que motivou o desenvolvimento da referida funcionalidade.

Pretendia-se reforçar o contraste onde de outra forma não seria possível, donde, a introdução das curvas de *Bézier* revelou ser a estratégia indicada para o resultado pretendido. A definição de contraste passa assim a ser feita de uma forma manual conseguindo-se a integridade do contorno e um ajuste mais preciso e identificável.

A figura 3.26 apresenta o formato inicial de um troço cujos pontos extremos se encontram definidos a verde e os pontos de controlo a encarnado. A curva de *Bézier* encontra-se desenhada a azul.

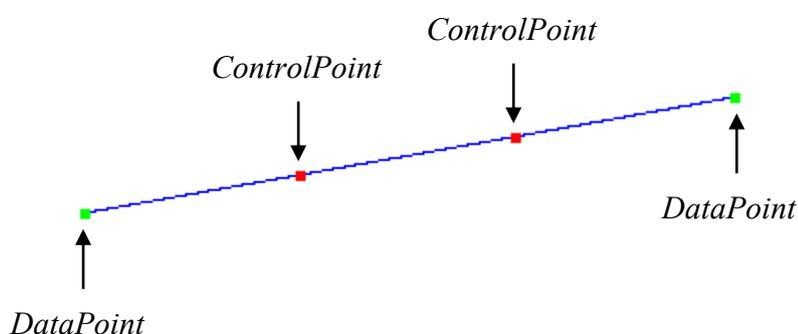


Figura 3.26 – Estrutura da curva de *Bézier*.

A salientar que qualquer um dos quatros pontos se apresenta com capacidade para ser deslocado (vertical e/ou horizontalmente) e por sua vez responsável pela reconfiguração estrutural da curva associada. Na figura 3.27 encontra-se o resultado de um duplo deslocamento concebido através da movimentação do primeiro *datapoint* e do segundo *controlPoint*. Trata-se de uma demonstração meramente exemplificativa da característica dinâmica da curva de *Bézier*, onde se regista a notória alteração estrutural da mesma em consequência do respectivo deslocamento de dois pontos, pretendendo-se evidenciar a razão da sua aplicação no projecto desenvolvido e descrito na presente dissertação.

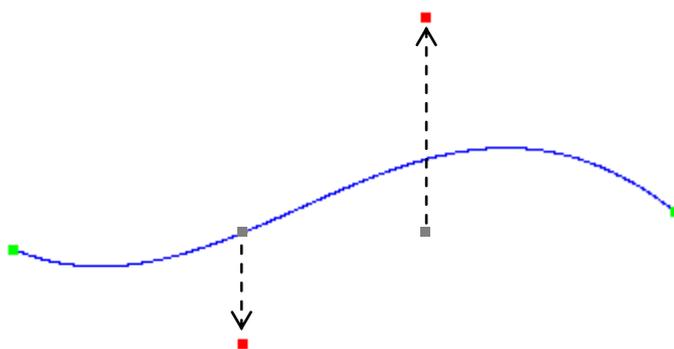
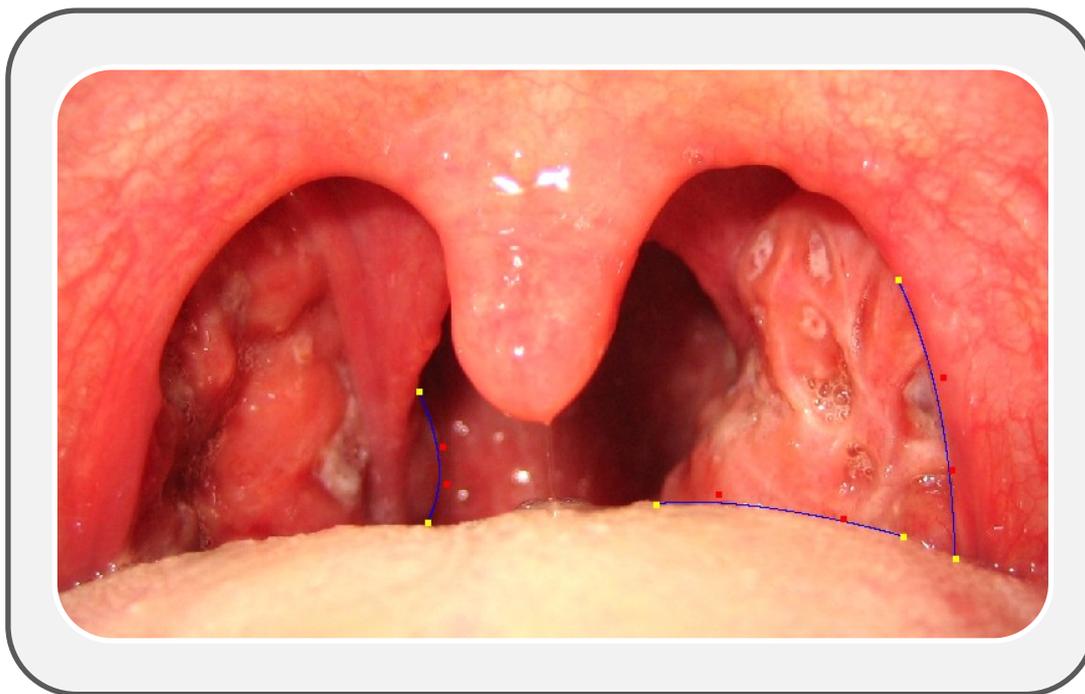


Figura 3.27 – Reconfiguração da curva de *Bézier*.

A figura 3.28 mostra a aplicação de um conjunto de curvas de *Bézier* colocadas em regiões de fraco contraste com o intuito de reforçar o mesmo e ao mesmo tempo garantir a integridade do respectivo contorno. Uma breve análise permitirá observar que os contornos se encontram em regiões de reduzido contraste, revelando-se inclusive nulo em certas zonas da imagem. Os pontos de controlo das respectivas curvas, quer os *datapoints* quer os *controlpoints* permitem o seu ajuste ao contorno real, no caso de se verificar uma zona de fraco contraste e de permitir a imposição manual de contraste em regiões onde não se verifica qualquer contraste. Refira-se que não existe um número máximo no que diz respeito à utilização das curvas, podendo estas ser introduzidas e configuradas em qualquer região da imagem, do mesmo modo que não existe um número mínimo tendo em conta que se trata de um modo em que o modelo não se encontra fechado. É apenas necessária a indicação da posição do ponto inicial e final de cada um dos troços, podendo estes apresentar uma forma inteiramente configurável, sendo essa característica resultado do deslocamento dos pontos de controlo da respectiva curva de *Bézier*.



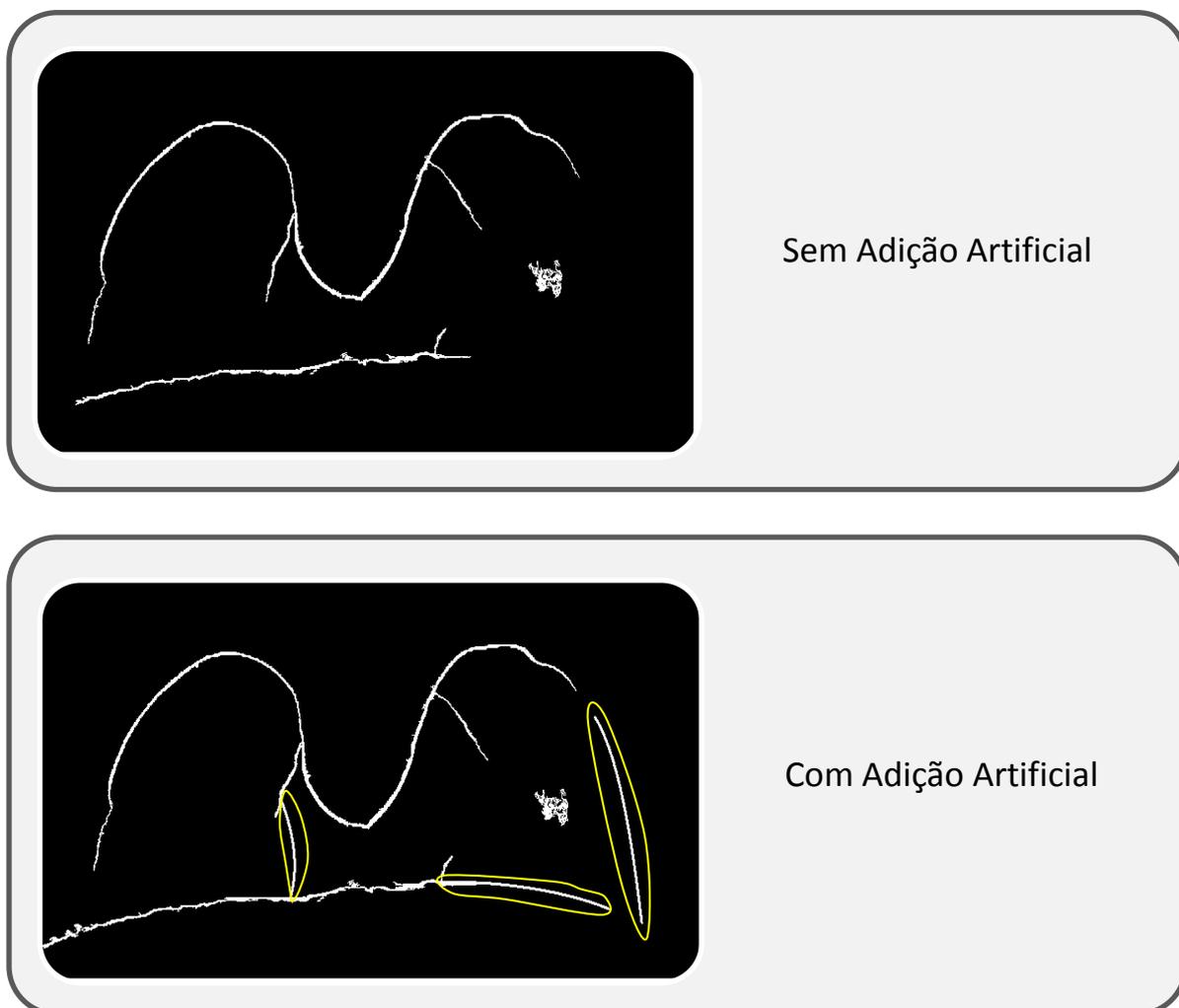
**Figura 3.28 – Aplicação de curvas de Bézier.**

Como se apresenta na imagem anterior, as curvas não se encontram unidas podendo deste modo efectuar o reforço de contraste em regiões muito localizadas. Verifica-se de igual modo o correcto ajuste das mesmas ao contorno pretendido sendo o mesmo concebido através da movimentação dos pontos de controlo, não necessariamente os quatro. A elevada flexibilidade da curva, entenda-se, curvatura permite um acompanhamento rigoroso e adequado à estrutura que se define na imagem, seja qual for o seu grau de curvatura.

Neste caso serão aplicadas na imagem original, ou seja, sem qualquer aplicação de processamento. Deste modo, garantir-se-á o correcto aproveitamento da sua potencialidade aquando da utilização de um qualquer método de detecção e realce de contornos, produzindo o efeito pretendido tendo em conta a sua presença na imagem. A ausência de contorno ou a sua débil demarcação será substituída por um contorno bem definido conseguindo-se assim a integridade no que respeita ao traçado do mesmo evitando-se a ocorrência de separação de linhas devido à ausência de contraste.

Visando a comprovação da utilidade do método desenvolvido apresenta-se, recorrendo à figura 3.29, o resultado da aplicação do método. Analisando a respectiva figura poder-se-á verificar a grande importância do conceito desenvolvido e apresentado na presente

subsecção. De notar que o resultado apresentado se refere à aplicação das curvas de *Bézier* posicionadas de acordo com a figura 3.28.



**Figura 3.29 – Aplicação do método de adição artificial de contraste.**

De referir que os troços adicionados artificialmente se encontram propositadamente circunscritos através de um linha amarela na tentativa de permitir uma melhor identificação dos mesmos. Entenda-se que as respectivas linhas representam apenas uma marcação adicional e propositada a qual pretende facilitar a identificação do resultado da aplicação das curvas de *Bézier* descrito anteriormente.

A introdução manual dos referidos troços permite a concepção de um mapa da energia potencial de validade e préstimo notavelmente superior quando comparado com a ausência de aplicação do método.

### 3.3.3. Concepção do Modelo

Esta subsecção descreve o modo de concepção do modelo fechado alvo de expansão e que se deslocará sobre o mapa potencial. Encontram-se desenvolvidos dois modos passíveis de utilização sendo que cada um dos quais apresenta características distintas.

O modo *manual mode* permite ao utilizador o posicionamento e conseqüente configuração do modelo inicial de uma forma considerada dependente da sua susceptibilidade, isto é, cabe ao utilizador a definição integral do modelo inicial de acordo com aquela que é a sua abordagem do contorno que pretende identificado. Por outro lado, o modo denominado por *automatic mode* efectua o posicionamento inicial do modelo com base na selecção dos pontos de atracção, definidos por *attractionPoints*. Neste último modo, o utilizador terá apenas a obrigatoriedade de posicionar um conjunto de pontos de atracção que entenda pertencerem ao contorno da estrutura presente na imagem e alvo do processo de identificação.

De referir que se encontra na presente dissertação, concretamente na subsecção 3.3.4 uma completa abordagem referente ao desenvolvimento e aplicação dos referidos pontos.

As seguintes subsecções descrevem detalhadamente cada um dos modos desenvolvidos e implementados para o desenho e posicionamento do modelo inicial.

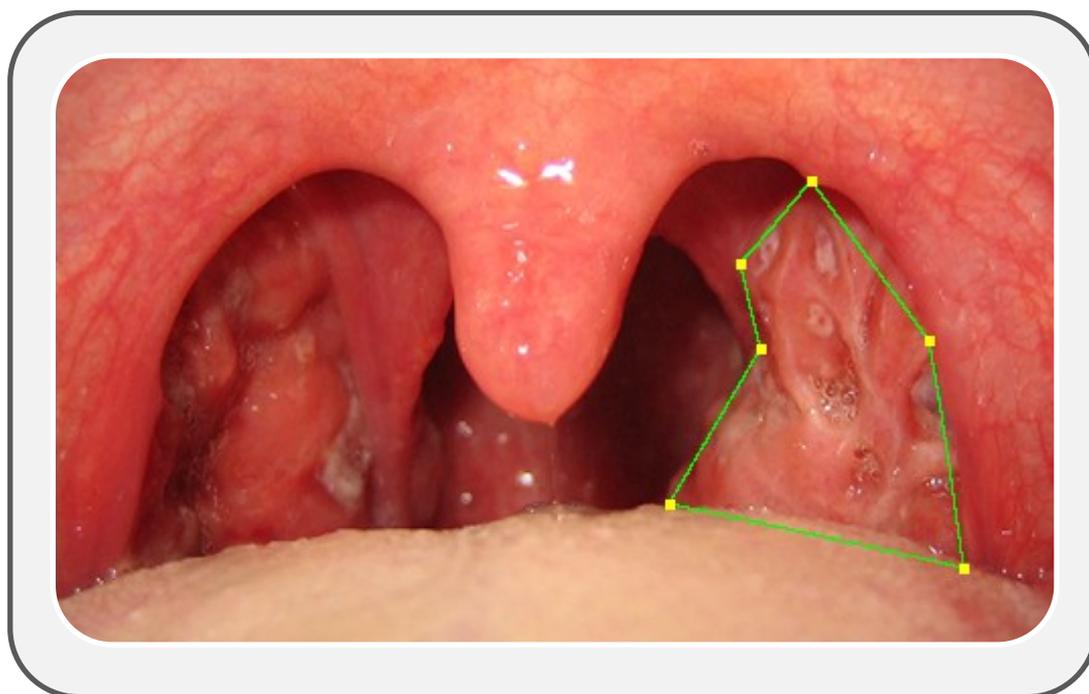
#### 3.3.3.1. *Manual Mode*

O modo *manual mode* permite o posicionamento e conseqüente desenho da forma do modelo inicial. Com recurso ao mesmo o utilizador dispõe de um método cuja capacidade lhe permite a definição dos diversos troços do modelo inicial de acordo com o número de pontos definidos pelo utilizador.

Trata-se de um modo de funcionamento extremamente simples, uma vez que se pretende do utilizador unicamente o posicionamento dos pontos segundo os quais será definido o respectivo troço. De notar este modo não interage com qualquer outra funcionalidade disponível na aplicação desenvolvida, ao contrário do modo automático que efectua o desenho inicial do modelo com base na selecção dos pontos de atracção, sendo posteriormente aplicado um processo de optimização à estrutura inicial do contorno activo.

Assim, importa destacar a flexibilidade associada ao modo manual no que respeita à definição do modelo inicial, entendendo-se como de compreensão imediata o facto de a identificação do contorno da estrutura presente na imagem ser tanto melhor definida pelo modelo quanto maior for o número de troços definidos inicialmente.

A figura 3.30 ilustra um exemplo de um modelo inicial composto por seis troços, em consequência dos seis pontos definidos pelo utilizador.



**Figura 3.30 – Posicionamento pelo método *manualMode*.**

O modelo representado na figura supra exposta representa o posicionamento inicial do respectivo contorno activo. Trata-se de uma exposição meramente ilustrativa, demonstrando um modelo constituído por seis troços. Este demonstra igualmente a pretensão do utilizador em identificar a região lateral direita das amígdalas. De referir a título de enquadramento com o funcionamento do método que se trata de um posicionamento considerado correcto tendo em conta o número de troços definidos a par com a localização dos pontos que definem os mesmos.

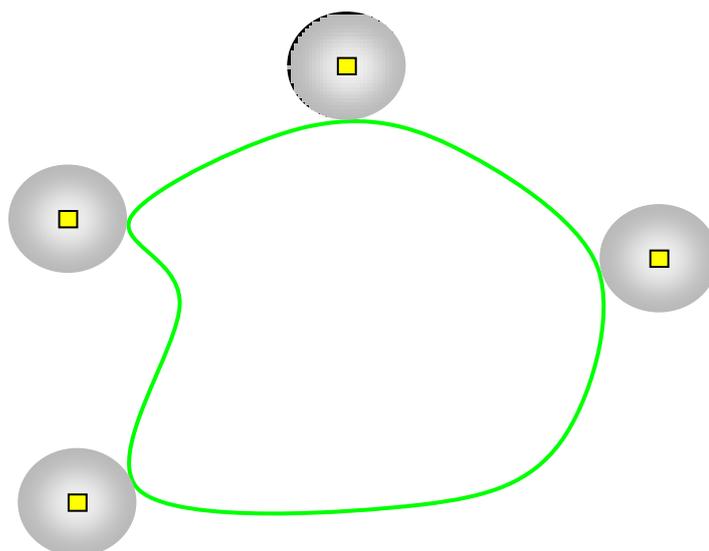
### 3.3.3.2. *Automatic Mode*

*Automatic mode* representa o modo desenvolvido para o posicionamento e definição do modelo inicial do contorno activo através de um conceito autónomo e de optimização. Através deste modo o utilizador dispõe da possibilidade de colocar um conjunto de pontos, denominados por *Attraction Points* sendo que estes se encontram desenvolvidos com o intuito de atrair o modelo em direcção aos mesmos. Assim, pretende-se apenas do utilizador a referida colocação dos pontos de atracção. Tratando-se de pontos pelos quais o modelo passará obrigatoriamente.

O referido conceito foi desenvolvido com base numa perspectiva de simplicidade e automatismo, que permitisse a definição da estrutura inicial do modelo de uma forma imediata e prática. Seguindo a perspectiva mencionada foram criados os pontos de atracção com o intuito de proporcionar o desenho do modelo do modo pretendido. Relativamente aos referidos pontos importa dizer que representam regiões de energia potencial máxima, sendo que esta será responsável pela forte atracção do modelo.

A validade do conceito apresentado encontra-se tanto mais comprovado quanto menor for o contraste presente na imagem uma vez que permitirá ao utilizador a selecção do local pelo qual pretende que o modelo se defina no seu ponto de equilíbrio, ou seja, no seu posicionamento final. Em analogia com um universo material poder-se-á comparar a metodologia do conceito com um sistema físico, no qual se encontra um dado material de determinada rigidez ligado a diversos pontos através de elásticos, identificando-se estes últimos no processo de contracção.

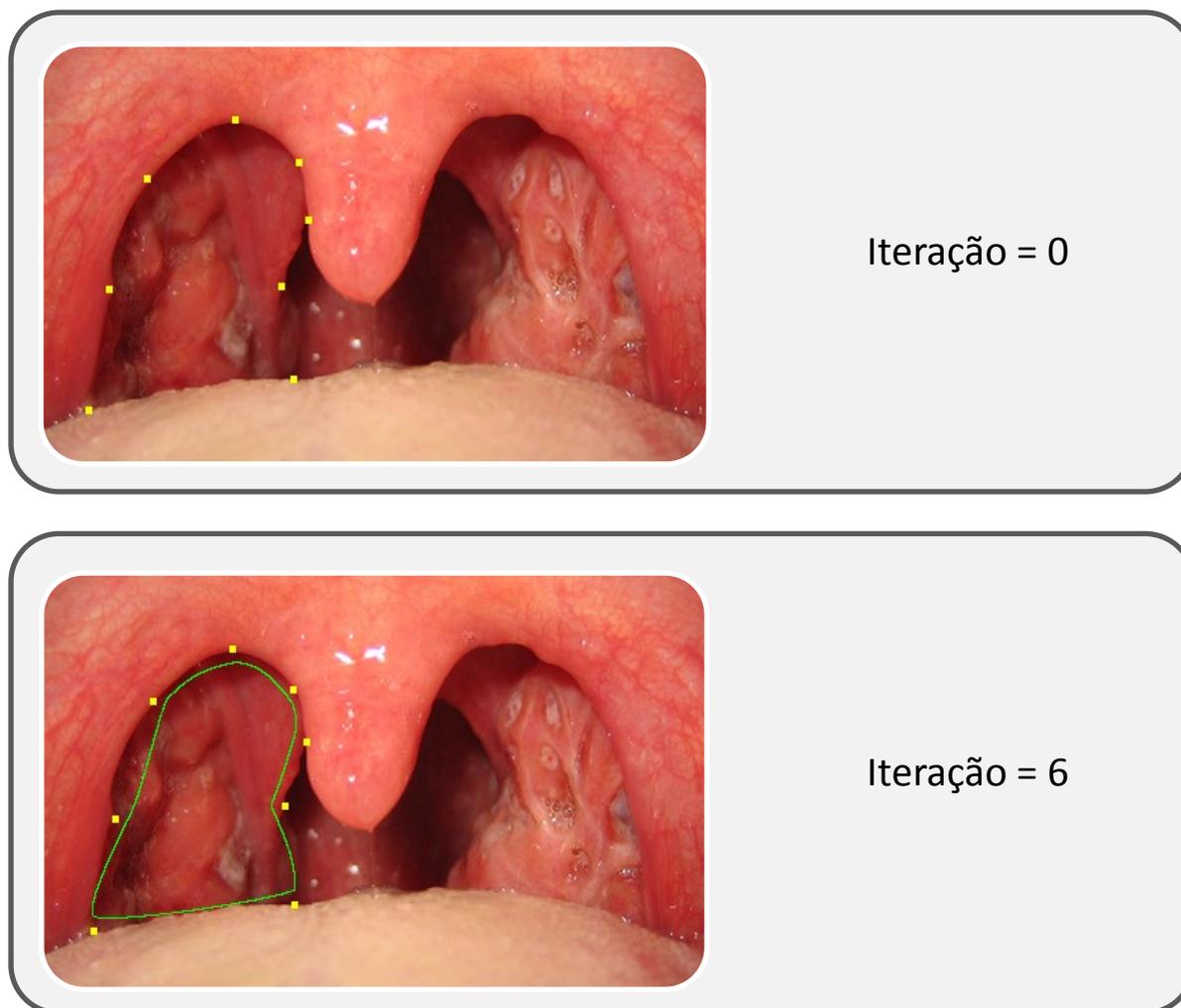
A figura seguinte ilustra através, de uma abordagem inteiramente conceptual, o conceito desenvolvido e aplicado neste que visa o enquadramento com a metodologia concebida para o efeito pretendido, assumindo apenas a responsabilidade de apresentação da mesma e não a de qualquer descrição detalhada. Para esse efeito encontra-se a figura 3.32, a qual demonstra através de um imagem real a aplicação do método em descrição.



**Figura 3.31 – Representação conceptual do efeito dos *attractionPoints*.**

Tal como mencionado anteriormente, a figura 3.31 ilustra de forma sucinta o efeito proporcionado pela presença dos pontos de atracção. Importa mencionar que os pontos desenhados a amarelo simbolizam os pontos de atracção e que o círculo no qual se encontram representa o mapa da energia potencial criado pela colocação dos respectivos pontos. A análise à figura permite conferir a dinâmica do contorno activo perante os pontos de atracção, isto é, observar o encaminhamento do modelo em direcção aos pontos definidos.

A figura 3.32 expõe o resultado da aplicação do conceito apresentado de acordo com uma determinada análise de desempenho efectuada após a implementação do mesmo. Esta possibilitará testemunhar a influência e respectiva importância do conceito desenvolvido uma vez que implica a passagem por parte do contorno activo nos pontos definidos. Considera-se assim um método muito útil perante cenários de reduzido contraste, quer numa perspectiva global quer numa perspectiva local, ou seja, o método revela a sua contribuição tanto em situações em que se aplica apenas um ponto de atracção na tentativa de aproximar a curva a uma determinada região, quer numa situação em que se pretende definir um conjunto de pontos definindo-se indirectamente uma pretensão do posicionamento final do modelo com base no objectivo do utilizador. Trata-se do resultado do posicionamento do modelo respeitante à sexta iteração. De referir que o número de iterações apresentado foi seleccionado apenas pela razão de que segundo a mesma o modelo já regista uma deformação perceptível.



**Figura 3.32 – Demonstração da influência dos pontos de atracção.**

A vantagem da aplicação deste método tem que ver com o processo de optimização inerente. A selecção do método em questão, entenda-se modo automático, e consequente posicionamento dos pontos de atracção permite o desenho da estrutura inicial do modelo, isto de uma forma inteiramente automática. Assim, existe apenas a necessidade de definição da posição dos referidos pontos sendo o modelo prontamente colocado de acordo com a selecção efectuada, de maneira a estabelecer um troço entre cada dois pontos de atracção. De notar que se garante deste modo o posicionamento final do modelo de acordo com os pontos em questão, ou seja, aquando do estado de equilíbrio do modelo verificar-se-á que este se posiciona de acordo com os mesmos.

### 3.3.4. Dinâmica

A presente subsecção apresenta a metodologia e arquitectura de cada um dos módulos do algoritmo desenvolvido com o objectivo de suportar a dinâmica associada ao modelo implementado. Efectua-se uma descrição detalhada da dinâmica associada ao modelo, identificando-se cada um dos conceitos implementados com o intuito de atribuir ao modelo as respectivas capacidades de locomoção. Como referido na subsecção 3.2 da presente dissertação, a dinâmica associada ao modelo encontra-se suportada através de uma reformulação ao modelo original. Esta passa por permitir um controlo da energia interna do modelo através de mecanismos internos suprimindo a obrigatoriedade relativa à parametrização do coeficiente de flexibilidade. Do mesmo modo, também a energia externa surge reformulada, apresentando-se composta por componentes adicionais, como a energia potencial, definindo igualmente a força de expansão e contracção. A arquitectura geral do processo ao suporte dinâmico é constituída por três módulos, sendo que cada um assume um papel determinante para o correcto desempenho do módulo seguinte. A figura 3.33 ilustra a estrutura descrita, apresentando-se seguidamente uma descrição detalhada relativa ao propósito de cada um dos módulos apresentados.



Figura 3.33 – Estrutura do processo dinâmico.

### 3.3.4.1. Reconhecimento

O módulo de reconhecimento representa o primeiro processo de suporte à capacidade dinâmica do contorno activo desenvolvido. Trata-se do módulo responsável por efectuar o reconhecimento do traçado inicial do modelo definido pelo utilizador, com base nas opções estabelecidas para o efeito, seja o modo *automaticMode* com recurso ao posicionamento dos pontos de atracção ou o modo *manualMode* referente ao traçado integralmente imposto pelo respectivo utilizador.

O reconhecimento efectuado por este módulo permite o registo integral do posicionamento dos pontos constituintes do modelo inicial. Assim, ter-se-á absoluto conhecimento da estrutura inicial do modelo, capacidade que se entende como de absoluta conveniência ao módulo definido em seguimento do actual, isto é, o módulo *Traçado de Rotas*. Em consequência serão identificados e registados os pontos de junção de troços, bem como os pontos denominados de controlo através dos quais serão definidas as rotas de progressão descritas na seguinte subsecção.

Os pontos de junção mencionados representam claramente os pontos segundo os quais cada dois troços do modelo se unem. O posicionamento dos mesmos é de particular importância uma vez que será com base na sua localização que se efectuará o cálculo para a obtenção dos pontos de controlo. Deste modo, encontram-se definidos os quatro pontos que permitirão controlar as características físicas do troço a que pertencem, encontrando-se igualmente definidos os restantes pontos constituintes de cada um dos troços que representam geometricamente a estrutura do modelo inicial.

Este módulo permite obter o conhecimento posicional dos pontos pertencentes ao contorno, os quais ficarão registados de forma a serem alvo do processo dinâmico, ou seja, do processo responsável pelo deslocamento dos mesmos. De referir que todos os pontos pertencentes ao contorno serão influenciados pelo mapa da energia potencial, o qual permitirá conduzir o contorno activo de encontro ao contorno definido pela estrutura presente na imagem.

A figura 3.34 pretende ilustrar através de um fluxograma a metodologia do algoritmo desenvolvido para o desempenho da tarefa pretendida.

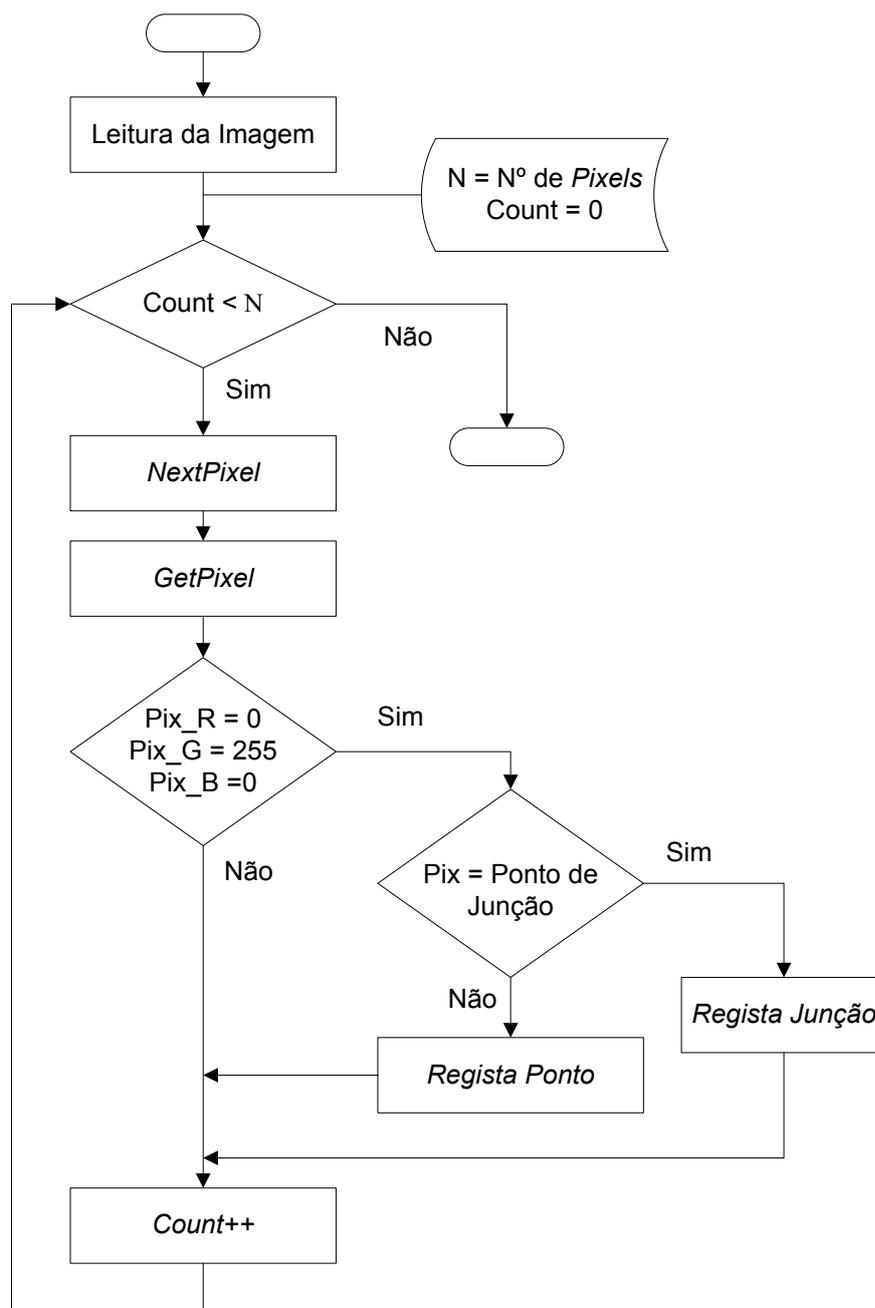


Figura 3.34 – Arquitectura do algoritmo *Recogn*.

Como se pode observar na figura 3.34, primeiramente é feito um carregamento em memória do conteúdo da imagem sobre a qual se encontra o modelo inicial. O referido carregamento permite o conhecimento da resolução da respectiva imagem, ou seja, o número total de *pixels* que a definem.

Assim, o algoritmo encontra-se sob controlo de um ciclo responsável pela análise de cada um dos *pixels* presentes na imagem em avaliação.

O método denominado por *GetPixel* visa a obtenção do conteúdo informativo do *pixel* registado, obtendo-se assim o valor de cada uma das três componentes cromáticas, *R*, *G* e *B* uma vez que se trata do sistema de cor assim definido. Se o *pixel* registado corresponder a um ponto do contorno, ou seja, se se tratar de um ponto com a componente verde a assumir o seu valor máximo, neste caso duzentos e cinquenta e cinco e as restantes o valor nulo, verificar-se-á se este corresponde ou não a um ponto de junção. De notar que se tratará de um ponto de junção se registar o mesmo posicionamento de um dos pontos definidos pelo utilizador aquando da definição da localização e consequente estrutura inicial do modelo. Entenda-se que embora os pontos de junção sejam de igual modo pontos pertencentes ao modelo, estes assumem um papel de diferente destaque como comprova a subsecção seguinte.

Os processos de registo, *Regista Ponto* e *Regista Junção* representam o processo associado ao registo do respectivo ponto, dependendo do tipo do mesmo. Por último, o bloco designado por *NextPixel* permite o endereçamento para o *pixel* seguinte.

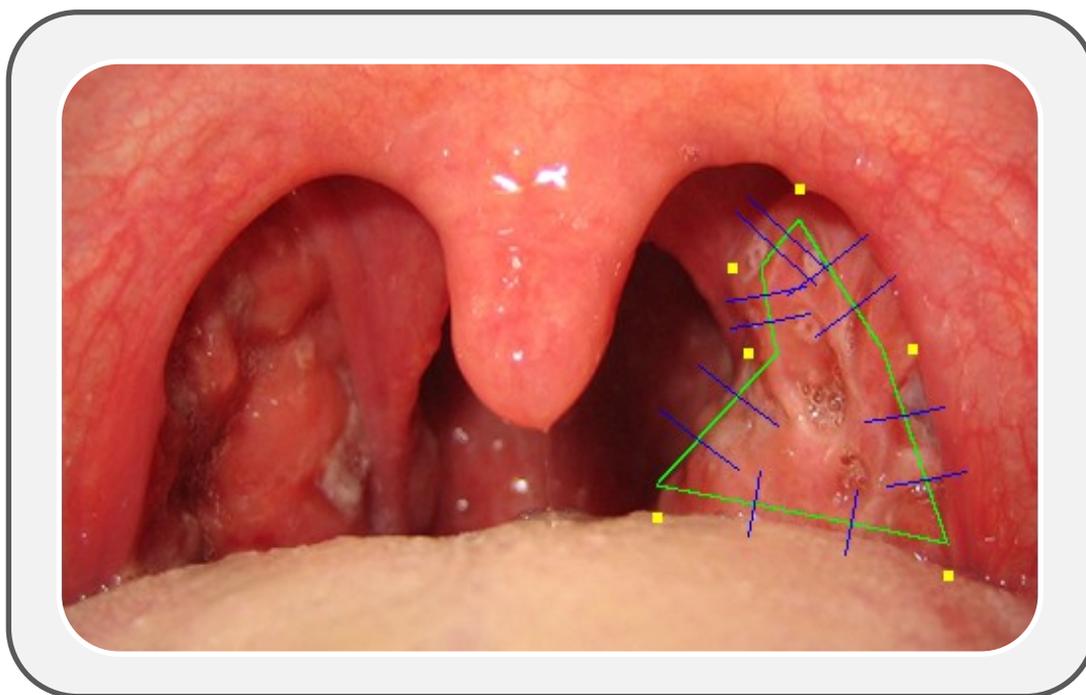
#### **3.3.4.2. Traçado de Rotas**

O módulo apresentado na presente subsecção visa o cálculo e definição das rotas estabelecidas para o deslocamento dos pontos de controlo presentes em cada um dos troços.

O deslocamento do contorno activo será obtido através da movimentação dos quatro pontos de configuração de cada um dos troços, ou seja, dos dois pontos de junção e dos dois pontos de controlo. Deste modo, é através da movimentação empregue a cada um destes quatro pontos que se garante o respectivo deslocamento de cada um dos pontos pertencentes a cada um dos respectivos troços. Pretende-se assim evidenciar a componente de optimização associada tendo em conta a capacidade de controlo de um troço completo, ou seja, de um determinado número de pontos, através do controlo de apenas quatro pontos.

As rotas mencionadas referem-se às rectas normais definidas com base nos pontos de controlo, donde para o seu cálculo é tido em consideração o declive do troço a que pertencem.

A figura 3.35 ilustra as diversas rectas normais calculadas para cada um dos troços definidos. De referir que as mesmas não serão visíveis ao utilizador, tratando-se apenas de uma ilustração para efeitos de compreensão do conceito em análise. Posteriormente à apresentação da figura encontra-se uma explanação detalhada referente ao cálculo das rectas normais, assim como uma abordagem sobre o seu papel no processo dinâmico do modelo.



**Figura 3.35 – Representação das rectas normais.**

Tal como se observa através da figura acima, em cada troço do modelo inicial são definidas duas rectas normais. De acordo com o mencionado na subsecção anterior as linhas normais representam as rectas normais ao respectivo troço sendo a sua intercepção localizada sobre os pontos de controlo de cada um dos troços. Cada recta normal tem o objectivo de conduzir o respectivo ponto de controlo tendo como base de decisão o mapa da energia potencial associado. Deste modo, um determinado ponto de controlo assumirá a posição definida pela respectiva normal, ou seja, posicionar-se-á de acordo com os pontos definidos pela normal pertencente.

Para o cálculo de uma dada recta normal é necessário tomar conhecimento do declive do segmento de recta com o qual produz o característico ângulo de noventa graus. Deste

modo, o declive de cada troço definido pelo modelo permite-se obter com base nos respectivos pontos de junção através da equação 3.12.

Seja um dado ponto de junção definido por  $J_i = x_i, y_i$ , o declive definido por dois pontos de junção é definido com base na equação 3.12.

$$d = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (3.12)$$

A representação geométrica de cada uma das rectas normais foi definida com base na equação 3.13.

$$y = \frac{1}{d} \cdot x + b \quad (3.13)$$

Para o cálculo do valor da variável  $b$  foi feita uma substituição das restantes três variáveis, onde  $x$  e  $y$  tomaram o valor do posicionamento do ponto de controlo respectivo, correspondendo este ao ponto de intersecção e  $d$  obteve o valor do declive do segmento de recta definido pelos pontos de junção associados.

Em suma, importa referir o propósito das rotas de encaminhamento, o de estabelecer rotas para os pontos de controlo de cada um dos troços existentes, segundo o conteúdo informativo obtido com base no mapa da energia potencial calculada previamente à aplicação do processo em actual descrição. Tal como será comprovado no capítulo responsável pela apresentação de resultados, o conceito em análise representa um contributo de grande valor no que se refere à performance do processo dinâmico, isto é, a performance do contorno activo aplicado na imagem com o intuito de registar o contorno definido na mesma. De notar que a subsecção que se segue expõe de forma detalhada o enquadramento do conceito analisado de acordo com a aplicação desenvolvida.

### 3.3.4.3. Deslocação

O módulo descrito nesta subsecção representa aquele que se considera ser o núcleo de processamento de todo o processo dinâmico aplicado ao contorno activo. A consideração efectuada tem que ver com o facto de se tratar de um módulo no qual se encontram todas as unidades de suporte à dinâmica do modelo, consideradas como unidades de controlo

uma vez que se encontram desenvolvidas com o intuito de monitorar o constante comportamento do modelo. Para o objectivo pretendido foi idealizado, desenvolvido e implementado um algoritmo responsável por todo o processo de atribuição de energia ao modelo, sendo o mesmo estruturado através de uma metodologia centralizada. A referir que os mesmos comunicam com um módulo central o qual será responsável pela configuração de um parâmetro do modelo, neste caso, o da flexibilidade, uma vez que o valor do coeficiente de elasticidade do modelo é previamente definido pelo utilizador. Cada uma das unidades de controlo assume um propósito específico, sendo a análise efectuada por cada uma, considerada como parâmetro de entrada no núcleo de processamento, pretendendo-se assim caracterizar todo o processo dinâmico do modelo como uma interligação de processos. A figura 3.36 ilustra a arquitectura do algoritmo proposto, identificando-se cada um dos módulos interligados à estrutura central.

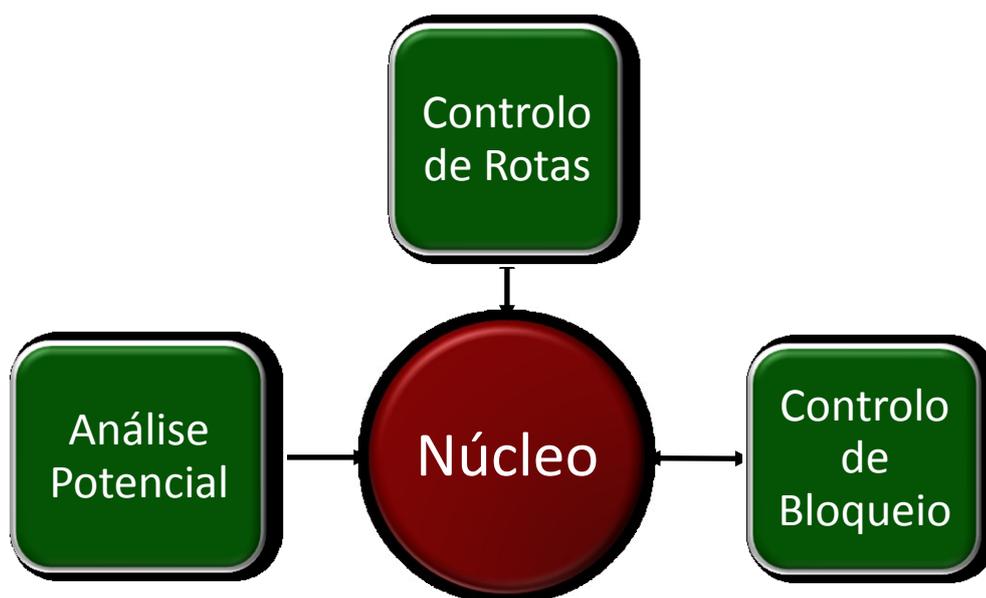


Figura 3.36 – Representação da estrutura do processo dinâmico.

O módulo denominado por *Análise Potencial* permite o acesso ao mapa da energia potencial. De acordo com o referido anteriormente a energia potencial é responsável por definir o sentido do modelo em direcção aos valores de energia potencial máxima, o que neste caso corresponde ao valor de duzentos e cinquenta e cinco.

A cada iteração e para cada um dos quatro pontos de configuração de cada troço, entenda-se pontos de junção e pontos de controlo, o módulo central designado por núcleo acede ao conteúdo fornecido pelo módulo *Análise Potencial* no sentido de obter o sentido segundo o qual deverá deslocar o ponto em questão. De notar que o referido sentido é

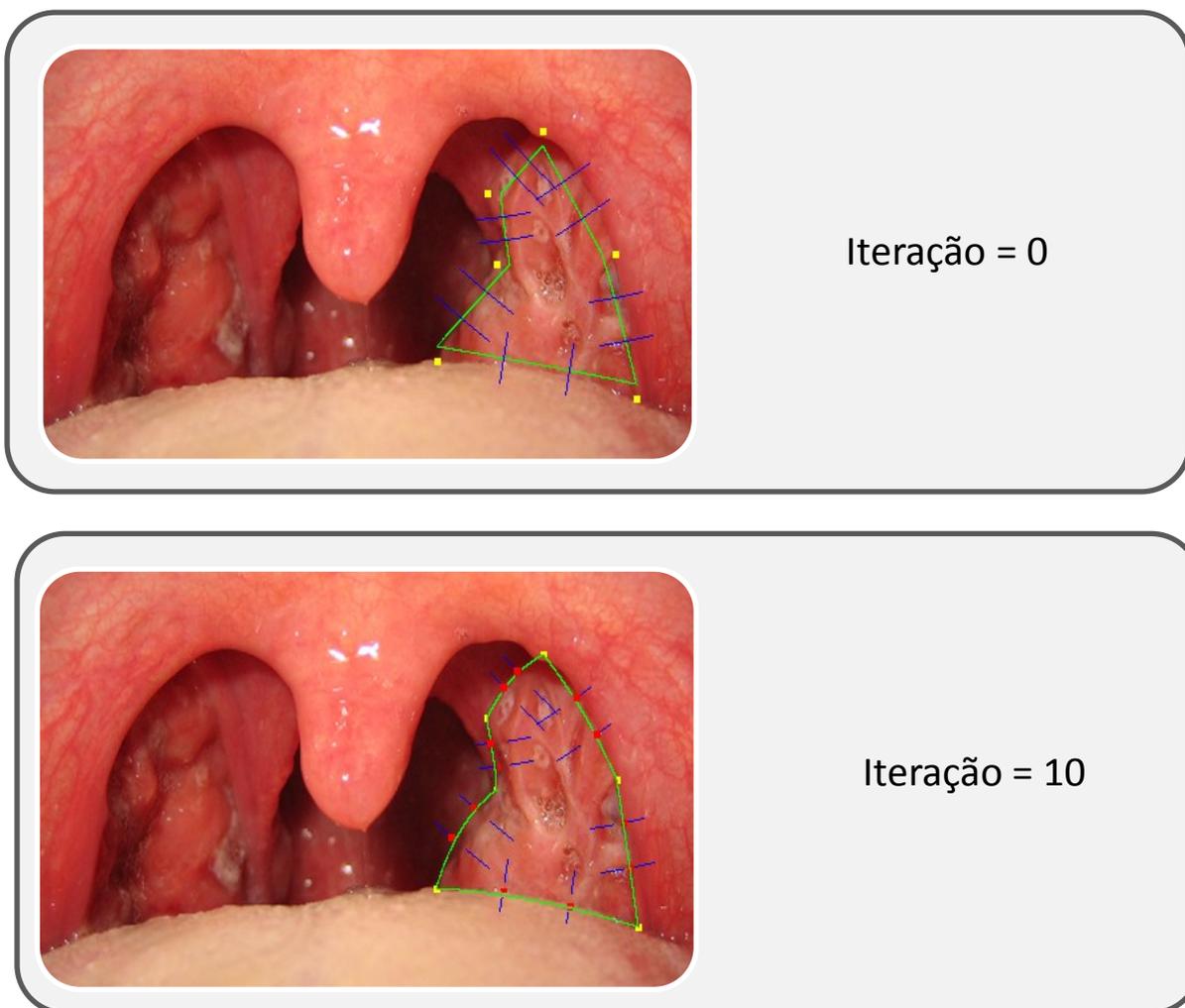
calculado com base no valor potencial da vizinhança do respectivo ponto, sendo que a direcção do respectivo deslocamento se apresenta previamente definida através da rota de encaminhamento estabelecida para cada um dos pontos de controlo. Os pontos de junção são deslocados na direcção e sentido dos pontos de atracção anteriormente posicionados pelo utilizador. Deste modo, pretende-se demonstrar a constante comunicação entre módulos desenvolvida no sentido de suportar o processo dinâmico do modelo que assiste.

De salientar que os pontos de junção serão atraídos até ao seu encontro com o ponto de atracção mais próximo. O processo iterativo correspondente ao mecanismo de locomoção do modelo apenas cessará aquando da obtenção do estado de equilíbrio do modelo, ou seja, quando todos os pontos de junção se encontrarem segundo o exacto posicionamento dos pontos de atracção e ainda aquando da verificação da energia potencial máxima por parte de cada um dos troços que definam o modelo.

Atenta-se que o posicionamento final do modelo, isto é, do contorno activo, se poderá dever a dois factores. Um factor referente à condição de equilíbrio do próprio modelo, em que esta se verifica por intermédio da energia potencial, e um outro factor relacionado com as características físicas do modelo. Pese embora o mapa da energia potencial permita o direccionamento do modelo de encontro ao contorno da estrutura presente na imagem, são as suas características físicas, ou seja, a sua energia interna que não o permite. Esta situação ocorre frequentemente quando o modelo se depara com contornos de pronunciada curvatura, não sendo assim possível a convergência pretendida face ao contorno.

A figura 3.37 visa a apresentação do deslocamento dos quatro pontos de controlo, sendo que a mesma permite a identificação das rotas de encaminhamento associadas a cada um dos pontos de controlo. Poder-se-á de igual modo definir como rota de encaminhamento, aquela que une um determinado ponto de junção ao ponto de atracção mais próximo.

É de salientar que os pontos de controlo encontram-se identificados apenas para efeitos de ilustração e de melhor compreensão do conceito em presente explanação.



**Figura 3.37 – Representação da evolução do modelo.**

Através da observação da figura anterior é possível constatar o deslocamento dos pontos de controlo segundo as respectivas rotas de encaminhamento, sendo que o respectivo deslocamento implica a movimentação integral do troço associado.

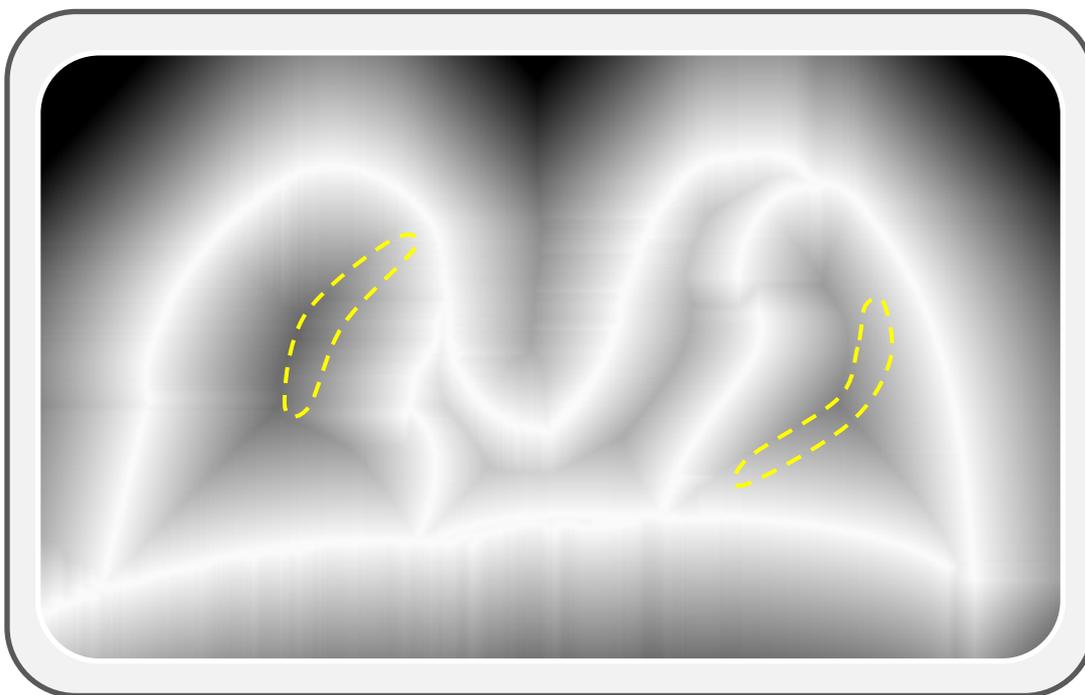
O módulo designado por *Controlo de Rotas* visa o adequado posicionamento dos pontos de controlo durante o decorrer do processo iterativo correspondente ao período dinâmico do modelo. Encontra-se desenvolvido com a capacidade de manter o respectivo ponto segundo a rota anteriormente estabelecida. Deste modo, interage com o núcleo a fim de lhe fornecer o correcto posicionamento a indicar na próxima iteração.

Assim, define-se o módulo em destaque como uma espécie de base de dados na qual se encontram os pontos definidos por cada uma das rotas estabelecidas para cada um dos pontos de controlo definidos.

Em suma, este módulo assume o objectivo de designar o próximo posicionamento do respectivo ponto de controlo. De referir que a posição disponibilizada por este depende do sentido definido pelo módulo responsável pela análise potencial.

O terceiro módulo, *Controlo de Bloqueio*, representa o módulo responsável pela correcta convergência por parte do modelo. Dispõe de um conjunto de mecanismos desenvolvidos com o intuito de suprimir as situações de bloqueio criadas por intermédio das características do mapa da energia potencial.

A concepção do mapa da energia potencial não permite só por si eliminar as ilhas de ruído descritas anteriormente, nem mesmo evita a definição de zonas caracterizadas como equipotenciais, isto é, zonas em que se verifica o mesmo valor de energia potencial. Estas estabelecem-se no mapa potencial e representam as zonas em que as linhas de energia potencial se encontram provenientes do contorno definido na imagem. Tendo como objectivo a demonstração das referidas zonas, a figura 3.38 ilustra um determinado mapa potencial no qual se torna possível observar as zonas equipotenciais.



**Figura 3.38 – Identificação das regiões equipotenciais.**

O objectivo do módulo em análise é o de solucionar os efeitos criados pelas zonas equipotenciais, bem como pelas ilhas de ruído. Para tal implementou-se no mesmo um

conjunto de mecanismos cuja capacidade permite a pretendida supressão dos indesejados efeitos. De referir que os efeitos mencionados se caracterizam pelo bloqueio do modelo, entenda-se partes do modelo, aquando da sua passagem pelas zonas de igual valor potencial.

Deste modo, a pretensão de resolução do problema mencionado levou ao desenvolvimento e implementação de um algoritmo capaz de suprimir as diversas dificuldades associadas. O algoritmo desenvolvido designa-se por *Seek* e o seu principal intuito é a identificação do contorno mais próximo aquando de uma situação de bloqueio. A partir do momento em que se detecta uma situação de bloqueio por parte de um determinado troço, o algoritmo efectua uma pesquisa ao longo das rotas de encaminhamento no sentido de encontrar um ponto de energia potencial máximo correspondente ao contorno pretendido. Assim sendo, o respectivo ponto de controlo bloqueado tomará o sentido definido pela rota mais curta, permitindo assim uma deslocação no sentido do contorno mais próximo.

Verifica-se portanto que o algoritmo desenvolvido inclui de igual modo a capacidade de detectar situações em que um dado ponto de controlo se encontra num vale de intensidades criado em consequência do mapa da energia potencial resultante, aplicando ao mesmo uma força externa, a qual permitirá a obtenção de *momentum*<sup>6</sup> por parte do mesmo, possibilitando a saída da zona de bloqueio. Note-se que a última análise se encontra descrita através de uma visão conceptual da funcionalidade implementada pelo algoritmo desenvolvido. Pretende-se assim demonstrar a notável pertinência do conceito idealizado e implementado, o qual visa suprimir a obrigatoriedade na colocação do modelo inicial nas proximidades do contorno da forma em análise, sendo este um dos principais condicionalismos apresentados no modelo convencional.

A figura 3.39 pretende, através de um fluxograma, apresentar a arquitectura do algoritmo desenvolvido e anteriormente descrito. De referir que a descrição detalhada referente a cada um dos blocos apresentados se encontra posteriormente à apresentação da mesma.

---

<sup>6</sup> Representa a movimentação de uma partícula, dotada de massa e velocidade

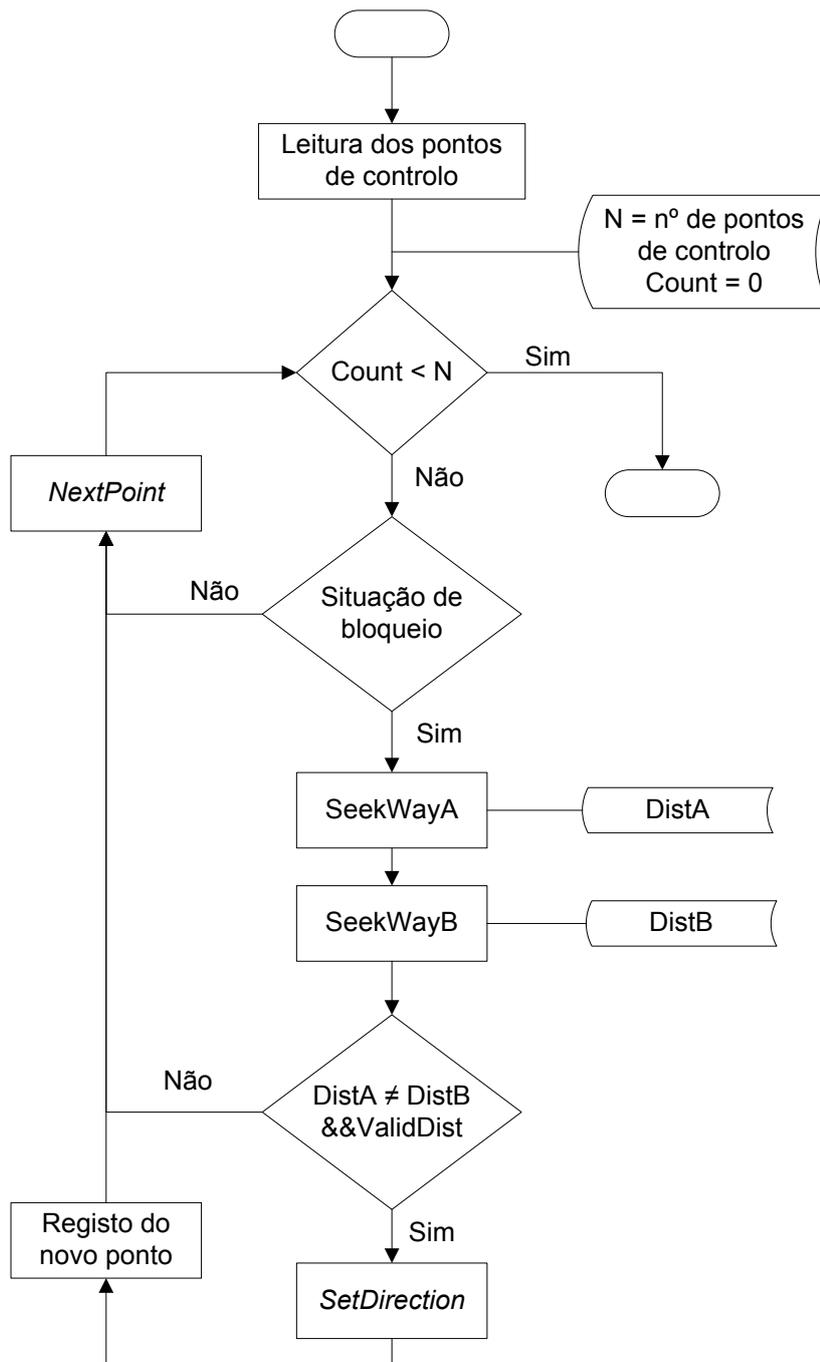


Figura 3.39 – Arquitectura do algoritmo *Seek*.

O primeiro bloco, *Leitura dos pontos de controlo*, permite o conhecimento dos pontos de controlo definidos no modelo por parte do algoritmo. Através do mesmo é possível o registo do posicionamento de cada um dos pontos de controlo, bem como a identificação do troço a que cada um pertence.

A verificação de *situação de bloqueio* representa a capacidade do algoritmo em detectar qualquer ocorrência de bloqueio por parte de um determinado troço, motivado pela presença de um dado ponto de controlo sobre uma zona de equidade potencial. Sendo que a mesma é detectada quando a energia potencial dos pontos vizinhos ao ponto de controlo em análise, segundo a rota de encaminhamento e em ambos os sentidos, for definida por valor idêntico.

Os blocos denominados por *seekWayA* e *seekWayB* descrevem o processo de busca e respectiva identificação de pontos de energia potencial máxima correspondentes ao contorno do objecto. O bloco com terminação *A* identifica o varrimento num dado sentido da rota de encaminhamento, entenda-se a rota segundo a qual o ponto de controlo se desloca, e o bloco com a terminação *B* diz respeito à busca no sentido contrário. De notar o registo em duas variáveis correspondentes, relativamente à distância obtida em cada um dos sentidos, isto é, a distância entre o ponto de controlo bloqueado e o respectivo contorno do objecto. A referir a consideração de distância válida desde que o processo de pesquisa obtenha um valor antes de alcançar os limites gráficos da imagem. Deste modo, o algoritmo posicionará o ponto de controlo na posição seguinte, de acordo com a rota de encaminhamento, caso se verifique a detecção do contorno do objecto em questão.

O reposicionamento mencionado, também conceptualmente considerado como atribuição de *momentum*, encontra-se efectuado pelo bloco com a designação *SetDirection*. Trata-se do bloco responsável por obter o conjunto de posicionamentos possíveis ao longo da rota e efectuar a respectiva deslocação do ponto de controlo bloqueado.

O bloco *Registo do novo ponto* permite, tal como a sua designação assim o demonstra, o registo do novo posicionamento do ponto em questão. A referir e de acordo com a representação efectuada através do fluxograma que o referido bloco só regista o novo ponto na situação em que existe deslocação por parte do mesmo.

Por último, o bloco denominado por *NextPoint* possui a capacidade de efectuar a leitura do ponto de controlo seguinte, de acordo com a listagem referente aos pontos de controlo definido no modelo. Desta forma, garante-se uma análise da totalidade dos pontos.

De notar que o algoritmo descrito assume a sua intervenção a cada iteração do processo dinâmico, sendo a sua capacidade aplicada aos pontos que ainda se encontrem em deslocação, evitando-se desta forma a análise a pontos de controlo que tenham alcançado o contorno do objecto ou cuja energia interna do próprio modelo não lhes permita qualquer deslocação adicional.

O módulo designado por *Núcleo* identifica e representa a estrutura desenvolvida com o objectivo de suportar a interligação entre os módulos apresentados e descritos anteriormente. Apresenta-se como o módulo principal de todo o processo dinâmico que suporta a movimentação do modelo. Permite a aplicação das competências de cada um dos módulos constituintes do processo dinâmico, a mencionar *Análise Potencial*, *Controlo de Rotas* e por último *Controlo de Bloqueio*.

### **3.3.5. Reconfigurabilidade**

Um dos factores considerados de particular relevância é sem dúvida a robustez do modelo, sendo que este permite avaliar a sua capacidade em direccionar a sua estrutura no sentido do contorno do objecto alvo de detecção com base no seu posicionamento inicial.

Uma das dificuldades do modelo convencional tem que ver com a sua reduzida aptidão em convergir para o contorno do objecto representado sempre que a distância entre este e o seu posicionamento inicial não se verifique compreendida dentro de um determinado intervalo fazendo com que o contorno activo, aquando do seu processo de expansão ou retracção, não demonstre uma convergência conveniente. Deste modo, encontra-se concebida uma funcionalidade de parametrização do modelo, possibilitando o ajuste necessário para a obtenção de um reconhecimento superior. A referida funcionalidade visa uma maior robustez do modelo proposto. De referir que se encontra presente no capítulo quatro da presente dissertação um completo estudo relacionado com as capacidades do modelo, no qual se poderá comprovar a aplicabilidade da funcionalidade concebida. Pretende-se assim, demonstrar que a aptidão do modelo proposto não se encontra dependente da sua localização inicial, podendo dessa forma ser posicionado em qualquer região da imagem, não comprometendo de qualquer modo o seu processo de expansão.

### 3.4 Discussão

O capítulo apresentado através das subsecções expostas anteriormente pretendia dar conhecimento da metodologia idealizada, desenvolvida e implementada com o intuito de suportar a componente dinâmica associada ao modelo activo. Cada uma das três secções visou apresentar os conceitos base da arquitectura proposta, destacando os princípios básicos de funcionamento dos processos implicados. A primeira secção efectuou uma abordagem geral sobre a proposta de reformulação anunciada, dando conhecimento dos vários aspectos alterados relativamente ao modelo convencional. Em seguida, na segunda secção procedeu-se a uma completa descrição sobre a reformulação apresentada, salientando-se as alterações efectuadas às características dinâmicas do modelo: energia interna e externa. Por fim, na terceira e última secção apresentou-se uma descrição detalhada e precisa de toda a metodologia associada ao processo dinâmico do modelo. Descreveu-se com base em mapas de sequências a arquitectura de cada um dos algoritmos idealizados e concebidos para cada uma das tarefas entendidas como requeridas para o necessário suporte à dinâmica do modelo.

Cada algoritmo desenvolvido encontra-se descrito e enquadrado no processo global de expansão do contorno activo, situando o mesmo em cada um dos sub-processos exigidos e definindo-se claramente qual o seu intuito e préstimo concedido à arquitectura geral do processo de expansão.

A explanação exposta anteriormente pretende evidenciar o carácter inovador do conceito idealizado e implementado aquando da estruturação do algoritmo, ao mesmo tempo que pretende identificar as diversas vantagens criadas através do conceito aplicado, permitindo a superação das dificuldades reconhecidas no modelo convencional criando ao mesmo tempo um conjunto de assinaláveis vantagens.



## CAPÍTULO 4.

### ANÁLISE DO DESEMPENHO

---

Encontrando-se realizada a apresentação da arquitectura do sistema proposto na presente dissertação, o presente capítulo visa explicar o resultado dos testes realizados com o intuito de validar os diversos objectivos pretendidos. Serão destacados os aspectos referentes à estrutura dos testes bem como à implementação realizada. O capítulo *Análise de Desempenho* apresenta-se estruturado através de quatro secções. Na primeira secção são apresentados os diversos pontos de análise, ou seja, os aspectos tidos em consideração para a avaliação dos testes realizados, apresentando também uma explicação sobre cada um deles e o motivo para a realização dos mesmos. Seguidamente, a segunda secção efectua uma abordagem sobre o ambiente de teste concebido para o efeito, destacando-se as respectivas funcionalidades, bem como o seu princípio de funcionamento. Na terceira secção são apresentados os resultados dos testes realizados, com base na análise pretendida. Por último, a quarta secção apresenta uma síntese das conclusões retiradas tendo em consideração os resultados obtidos através da aplicação desenvolvida.

#### 4.1 Pontos em Análise

Existem diversos aspectos a considerar e a avaliar durante a totalidade do processo dinâmico do modelo. Os pontos em análise descritos na presente dissertação possuem a seguinte denominação: *Tempo de Convergência*, e *Capacidade de Reconhecimento*. As seguintes subsecções pretendem efectuar uma descrição completa sobre cada um dos dois pontos de análise considerados, sendo que estes permitirão avaliar o comportamento do processo dinâmico do modelo apresentado, de uma forma directa e objectiva. Pretende-se dar conhecimento dos parâmetros de caracterização tomados em consideração aquando da análise relativa à movimentação do modelo proposto. De referir que o presente capítulo pretende de igual modo destacar o carácter inovador do mesmo, tornando evidentes as suas particularidades.

### 4.1.1 Tempo de Convergência

Um dos pontos fundamentais é o tempo que o modelo toma desde o seu posicionamento inicial até à forma que assume decorrido o processo de expansão. Interessa avaliar se se trata de um modelo com célere capacidade de decisão e conseqüentemente de expansão ou retracção dependendo da sua posição inicial. Assim, pretende-se avaliar a prestação do modelo relativamente à sua rapidez de execução, ou seja, no que respeita à duração requerida por este para proceder à identificação do contorno de um determinado objecto presente numa dada imagem.

Apesar de o modelo proposto não ter como requisito base a sua aplicabilidade em sistemas de tempo real, é possível a sua utilização em aplicações onde um tempo de convergência reduzido se assume como requisito crucial, como é o caso dos sistemas de tempo real. Dessa forma, procedeu-se a um teste de controlo e análise relativo ao tempo de convergência, o qual submete o modelo proposto face a alguns modelos desenvolvidos e disponíveis para experimentação.

Assim, o ponto de análise em discussão, entenda-se *tempo de convergência* encontra-se concebido através de um teste que permite avaliar os diversos tempos de convergência tomados pelo modelo proposto face aos restantes modelos testados. O teste mencionado possibilita a apresentação de uma comparação imparcial entre os modelos submetidos, onde se observará os tempos de convergência de cada um dos modelos em resposta à tentativa de detecção e identificação de variadas formas presentes em diversas imagens.

A figura 4.1 pretende definir o referido ponto de análise, onde na qual se identifica o tempo de convergência tomado por um determinado modelo. De referir que se trata de um mero exemplo ilustrativo com o qual se pretende esclarecer o leitor do significado prático que o ponto de análise em discussão pretende avaliar.

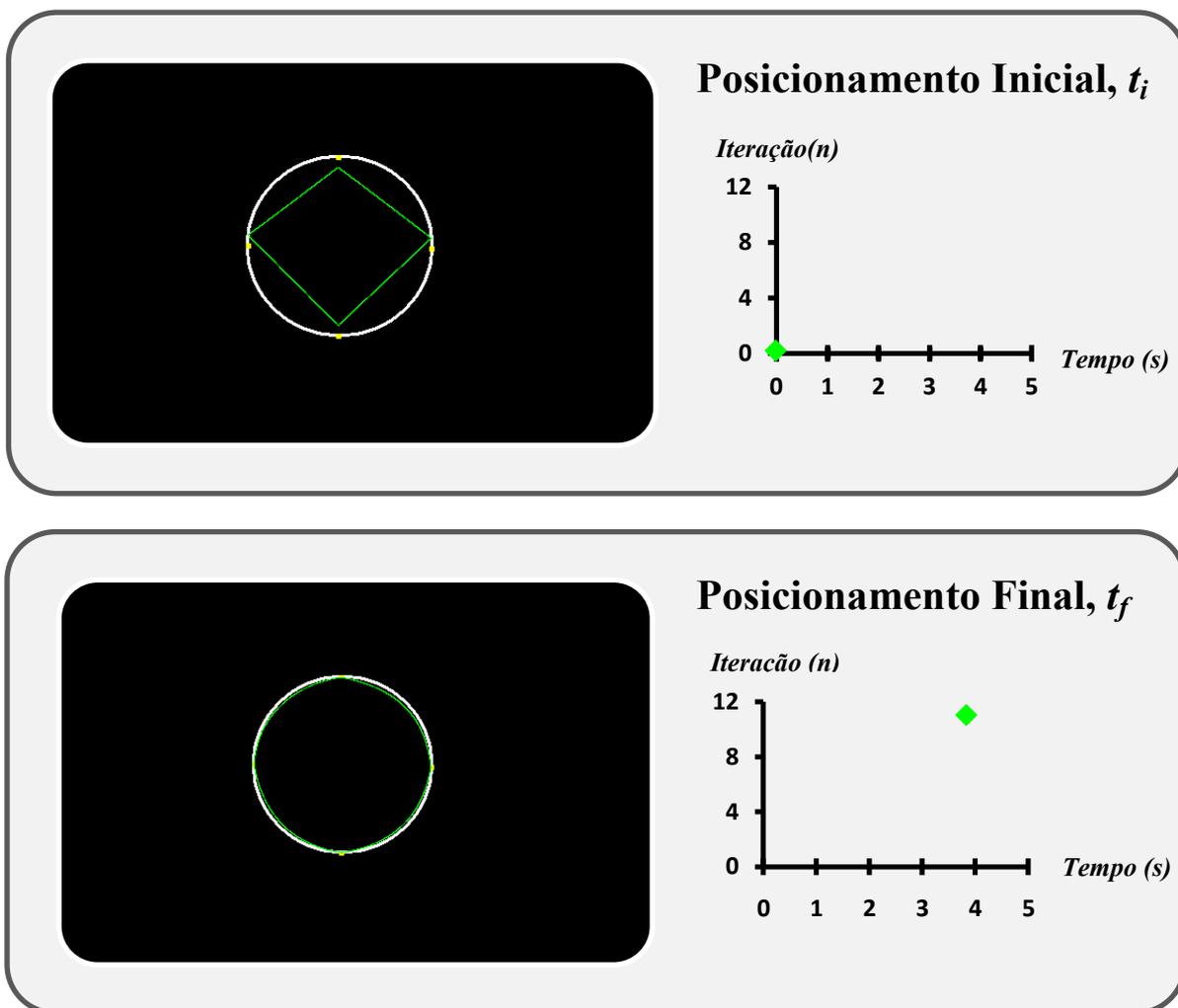


Figura 4.1 – Representação do tempo de convergência.

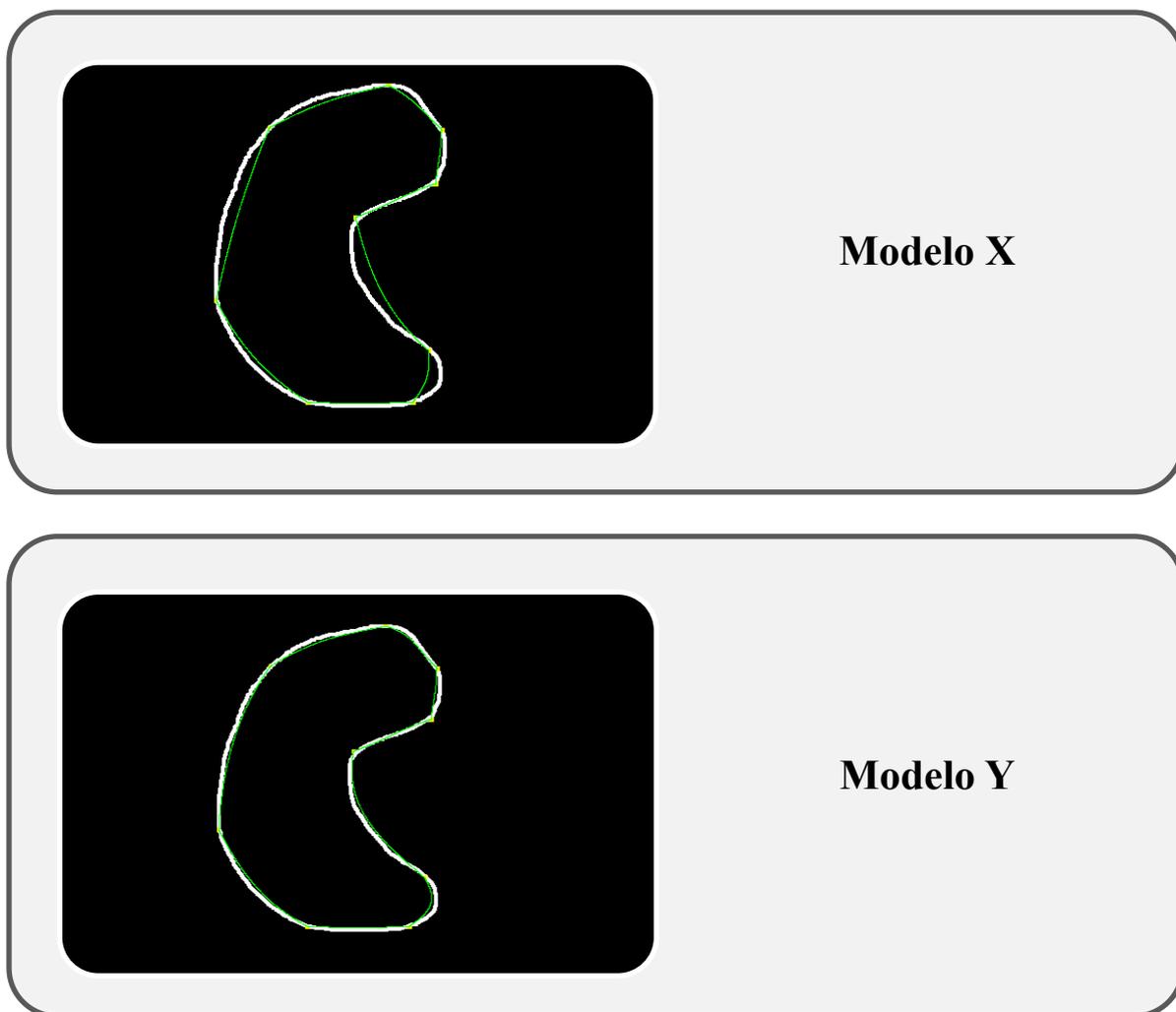
Os gráficos presentes na imagem acima visam facilitar a percepção clara do conceito tempo de convergência. Tratando-se de um exemplo meramente ilustrativo, o mesmo representa o caso de um modelo cujo processo de expansão ocorreu desde o seu posicionamento inicial aquando de  $t_i$  até ao momento em que se verifica a sua situação de equilíbrio, isto é, o seu posicionamento final em  $t_f$ , decorrem quatro segundos, sendo este o tempo de convergência verificado para o respectivo modelo apresentado. Aumenta o número de *pixels* do contorno activo, isto é, do modelo, verificando-se um esperado incremento do seu valor tendo em conta que se trata de um exemplo representativo de um processo de expansão, verificando-se uma diminuição do respectivo valor se de um processo de retracção se tratasse.

### 4.1.2 Capacidade de Reconhecimento

Um outro aspecto a ter em conta aquando da avaliação das potencialidades de um modelo de contornos activos é a sua capacidade de reconhecimento. Entende-se como capacidade de reconhecimento do modelo a sua capacidade para determinar o contorno do objecto que se encontra em processo de detecção. Cada modelo desenvolvido encontra-se também caracterizado pela sua aptidão no reconhecimento de um dado contorno presente numa determinada imagem. Essa aptidão poderá ser tanto mais expressiva quanto mais exímia for a capacidade de reconhecimento do contorno dinâmico. Entende-se que a referida disposição se encontra de duas características inerentes ao modelo, sendo elas a elasticidade e flexibilidade do contorno activo.

Assim, visando a avaliação do ponto de análise acima explicitado foram elaborados diversos testes no sentido de registar, segundo uma lógica comparativa, a capacidade de reconhecimento do modelo proposto na presente dissertação face à mesma capacidade evidenciada pelos restantes modelos submetidos ao mesmo teste. De referir que os restantes modelos submetidos a análise não possuem qualquer relação com esta dissertação, tratando-se apenas de elementos utilizados no processo de comparação. Pretende-se assim alcançar o melhor ambiente comparativo permitindo dessa forma uma correcta avaliação relativamente aos restantes modelos.

A figura 4.2 pretende demonstrar duas situações reveladoras de processos de expansão entre dois modelos com capacidades de reconhecimentos díspares. No primeiro bloco encontra-se um modelo, denominado pela letra *X* o qual apresenta uma capacidade de reconhecimento inadequada o que motiva um registo claramente insatisfatório do contorno real da forma apresentada. Assim, entende-se que o modelo em questão não possui as condições inerentes à sua modulação capazes de obter uma leitura fiável do contorno que se encontra em análise. Por outro lado, o segundo bloco revela um modelo denominado através da letra *Y* o qual possibilita um registo verídico, tendo em conta que apresenta uma capacidade de reconhecimento suficiente para delinear eficazmente a região correspondente ao contorno da forma apresentada.



**Figura 4.2 – Representação de capacidades de reconhecimento díspares.**

A figura exposta anteriormente pretende ilustrar a disparidade presente no processo de reconhecimento produzido por parte de um dado modelo. O ponto de análise em destaque pretende mensurar as competências do modelo no âmbito da sua competência de reconhecimento. De referir que se trata de um aspecto de grande relevância tendo em conta que se refere à correcta identificação do contorno definido pela respectiva estrutura geométrica presente numa dada imagem.

## 4.2 Modelos de Comparação

Com o intuito de avaliar e conseqüentemente comparar o desempenho do modelo proposto nesta dissertação com outros modelos já desenvolvidos entendeu-se como vantajoso submeter o respectivo modelo a um processo de comparação. Assim, a opção da utilização de três modelos, o modelo proposto na presente tese e dois modelos comparativos, está relacionada com o facto de se pretender um nível de comparação adequado, permitindo uma apreciação mais completa.

Os dois modelos de comparação utilizados têm a designação de modelo A e modelo B. Seguidamente apresenta-se uma descrição sobre a metodologia de cada um dos respectivos modelos.

O modelo A pertence ao conjunto de modelos cujo processo de segmentação se baseia na análise directa do conteúdo da imagem, *region based segmentation*. Trata-se de uma técnica usada para segmentação, a qual permite a identificação de regiões compostas por *pixels* que verificam uma determinada condição, possibilitando desse modo a detecção de contornos [Morse 2000]. Os pontos do contorno de um determinado objecto ou de uma outra característica são identificados com base num critério de selecção pré-definido.

O princípio de funcionamento baseia-se na selecção de um conjunto inicial de pontos, com base num determinado critério, a partir dos quais será inicializado um processo iterativo no sentido de encontrar os pontos que verifiquem a condição pré-definida, obtendo-se dessa forma a região formada pelos pontos pertencentes ao contorno pretendido.

O modelo B pertence ao grupo de modelos que baseiam a sua metodologia, ou seja, o seu processo de segmentação, no princípio de minimização da energia total do modelo [Bresson 2009] [Goldstein 2009]. Pretende assim obter a condição de equilíbrio a qual representa o posicionamento final do contorno, através da minimização da condição geral de energia descrita no capítulo dois.

De referir que ambos os modelos usados como meio de comparação visam a detecção de contornos de objectos ou outro tipo de formas geométricas.

### 4.3 Ambiente Gráfico – SVA<sup>2</sup>O<sup>2</sup>C

A necessidade de análise do comportamento do modelo desenvolvido e proposto na presente dissertação motivou a concepção de um ambiente de teste visando a respectiva avaliação. Assim, procedeu-se a uma análise e consequentemente escolha da linguagem de programação que melhor suportasse um ambiente de teste vocacionado para aplicações de processamento de imagem, sendo que a escolha recaiu sobre a linguagem C#.

A linguagem na qual incidiu a escolha apresenta uma notória vocação para o segmento de processamento de imagem uma vez que dispõe de bibliotecas especificamente concebidas para o segmento pretendido. De referir que o ambiente gráfico em explanação foi concebido através do ambiente integrado para desenvolvimento de software fabricado pela *Microsoft*<sup>7</sup> denominado por *Microsoft Visual Studio 2008* com bibliotecas disponibilizadas pelo *framework*<sup>8</sup> *Microsoft.Net Framework* na versão 3.5. O sistema operativo usado para o desenvolvimento da aplicação gráfica foi o *Microsoft Windows XP Professional*. A aplicação que foi desenvolvida com o objectivo de permitir o teste e análise do comportamento do modelo proposto obteve a denominação de SVA<sup>2</sup>O<sup>2</sup>C que corresponde ao acrónimo formado através do título da presente dissertação, isto é, *Sistema de Visão para Apoio à Avaliação da Obstrução da Orofaringe em Crianças*. Trata-se de um ambiente concebido com base numa perspectiva que visa uma componente gráfica evoluída assim como uma estrutura o mais *user-friendly*<sup>9</sup> possível, pretendendo-se assim facilitar a interacção entre o utilizador e a interface que permite o acesso às funcionalidades da aplicação. Entende-se como um aspecto de considerável relevância o facto de o ambiente gráfico desenvolvido possibilitar não só o teste do modelo proposto como também a sua utilização por parte dos utilizadores finais a que se propõe, tendo em conta que se trata de uma aplicação cuja potencialidade será de igual modo aplicada como suporte ao estudo da obstrução da orofaringe em crianças. A aplicação em análise poderá ainda ser utilizada para diversos outros propósitos relacionados com o processamento de imagem uma vez que incorpora uma variedade de funcionalidades que permitem o seu amplo enquadramento.

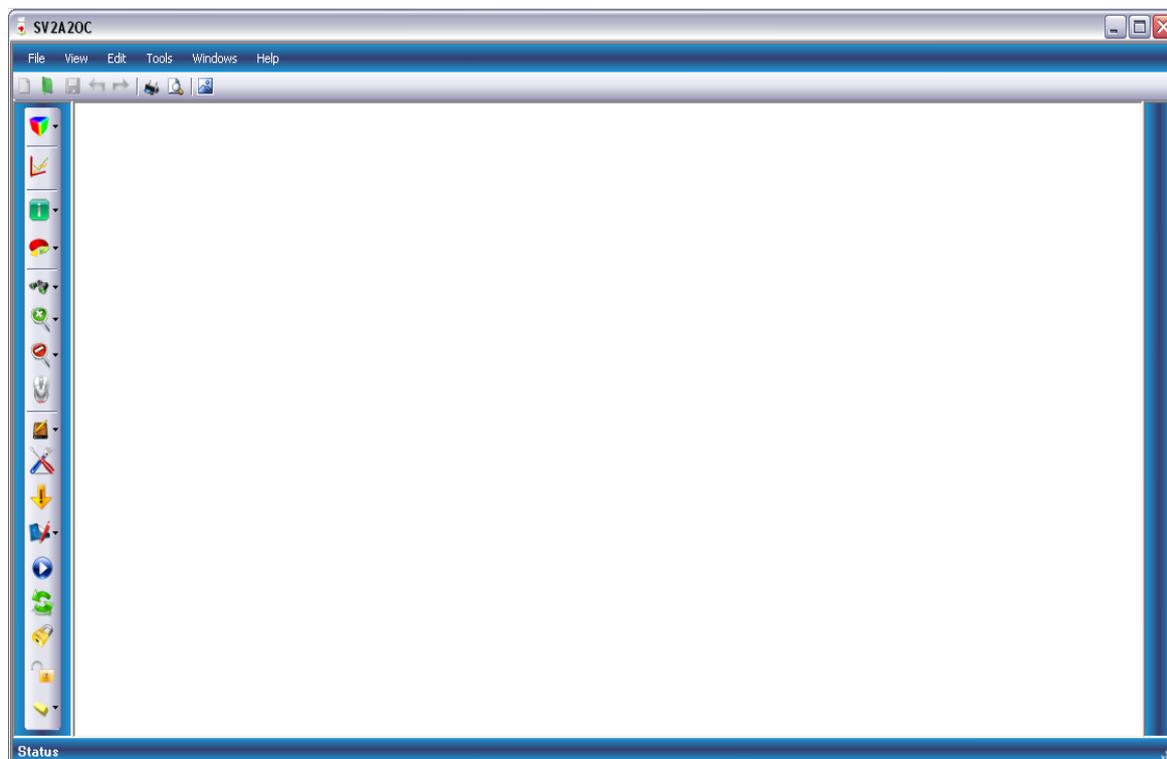
---

<sup>7</sup> Empresa americana de desenvolvimento de *software*.

<sup>8</sup> Representa um conjunto de classes concebido para suportar o desenvolvimento de *software*.

<sup>9</sup> Expressão que define uma solução acessível ao utilizador.

Na figura 4.3 é apresentada a imagem correspondente à interface gráfica da aplicação desenvolvida. Com base na análise à referida figura torna-se possível um conhecimento sobre a sua estrutura e orientação funcional. Verifica-se a existência de um painel lateral de opções situado à esquerda da sua estrutura.



**Figura 4.3 – Interface da aplicação desenvolvida.**

Embora não se pretenda apresentar uma descrição detalhada sobre a totalidade das funcionalidades da aplicação apresentada, tendo em conta que esse detalhe e minuciosidade se encontram bem patentes no manual da aplicação que se encontra em anexo, importa descrever a sua metodologia geral, bem como apresentar de forma sucinta as suas funcionalidades básicas.

Assim, relativamente à metodologia da aplicação, isto é, ao seu modo de funcionamento é de referir que se trata de uma aplicação disposta através de uma interface gráfica concebida tendo em conta o funcionalismo, pretendendo-se desse modo uma configuração de recursos absolutamente intuitiva. Deste modo, visando uma acessível interactividade entre o utilizador e a interface concebida, concluiu-se que a melhor forma de o conseguir seria através de uma disposição directa e gráfica das funções necessárias ao processamento requerido, razão pela qual se procedeu à implementação de um painel lateral onde cada um dos botões dispostos representa uma actividade específica. Contudo, para além do painel

lateral de opções existe ainda um conjunto de recursos dispostos através dos *menus* superiores. Assim, torna-se possível dividir as funcionalidades disponíveis em dois segmentos distintos: um segmento para a análise do comportamento do modelo proposto, do qual fazem parte as diversas funcionalidades dispostas no painel lateral e um segundo segmento composto pelas funcionalidades restantes e dispostas através dos *menus* que visam a aplicação de técnicas de processamento de imagem de uma forma directa e isolada.

A figura 4.4 ilustra os dois segmentos identificados anteriormente, na qual se pode verificar cada uma das funcionalidades desenvolvidas bem como o segmento em que cada uma dessas funcionalidades se enquadra.

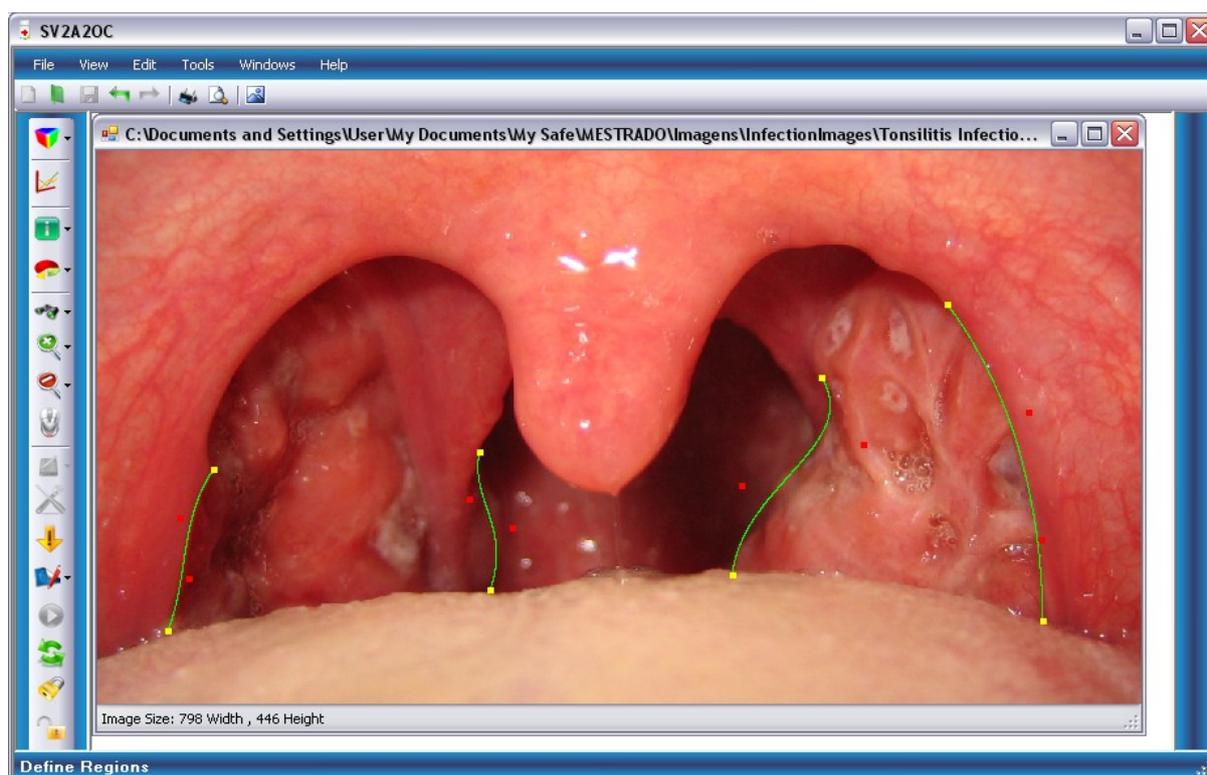


Figura 4.4 – Funcionalidades disponíveis através da interface gráfica.

De acordo com o referido anteriormente as funcionalidades desenvolvidas são passíveis de enquadramento em segmentos distintos. Considerando os dois painéis ilustrados na figura 4.4 refere-se que o painel à esquerda representa o conjunto das funcionalidades concebidas exclusivamente para o suporte à concretização de todo o processo dinâmico do

modelo proposto na presente dissertação, sendo que o painel à direita representa o segmento de funcionalidades desenvolvidas para uma utilização mais geral, embora tenham contribuído para o desenvolvimento do modelo proposto.

Na figura 4.5 encontra-se uma imagem da interface desenvolvida na qual se encontram em uso algumas das técnicas desenvolvidas para a identificação dos contornos presentes na imagem alvo de processamento. De referir que no exemplo apresentado se pode identificar a aplicação das curvas de *Bézier* na identificação das regiões fronteiras da forma em análise.



**Figura 4.5 – Interface gráfica da aplicação durante a fase de demarcação.**

Pese embora o facto de se encontrar na secção final do capítulo uma breve discussão sobre os resultados obtidos bem como sobre as ferramentas usadas para a obtenção dos respectivos resultados, entende-se pertinente salientar a importância do uso da aplicação apresentada no teste, melhoramento do modelo proposto da presente dissertação e consequente extracção dos resultados provenientes da sua aplicação. Assim, a aplicação idealizada, desenvolvida e concebida assume-se com importância vital nas conclusões extraídas durante o decorrer desta dissertação e apresentadas no respectivo capítulo.

## 4.4 Resultados

Apresentados que estão os pontos em análise assim como a aplicação gráfica, importa agora apresentar os resultados obtidos fruto das diversas simulações efectuadas ao modelo proposto. Esta secção efectua uma apresentação completa dos resultados obtidos, sendo os mesmos referenciados com base em duas abordagens distintas. Assim, esta secção de exame encontra-se dividida em duas subsecções. A primeira denominada por *Aplicabilidade Geral* visa a apresentação dos resultados obtidos em simulações de carácter geral, ou seja, simulações que pretendem atestar o espectro de aplicabilidade do modelo proposto e consequente comportamento. A segunda subsecção intitulada de *Aplicabilidade Específica* tem o objectivo de expor os resultados obtidos através de simulações onde se colocam à prova as capacidades do modelo proposto na presente dissertação para a resolução de situações de identificação e detecção de contornos presentes em imagens relacionadas com o tema da tese em avaliação, tornando-se assim possível um exame concreto e específico sobre as potencialidades do modelo na área a que se compete.

A estrutura da presente secção visa uma partição clara das aptidões do modelo proposto em dois níveis distintos e atestar o elevado espectro de aplicabilidade do mesmo, tendo em conta os resultados que se encontram apresentados em cada uma das seguintes subsecções. De notar que as simulações foram efectuadas com recurso única e exclusivamente a uma máquina de processamento visando dessa forma a obtenção de resultados provenientes de capacidade de processamento idêntica. Assim, pretende-se a apresentação de resultados de simulações onde cada um dos modelos descritos se encontra submetido à mesma capacidade computacional.

A máquina usada apresenta a seguinte configuração, processador *Intel Core 2Duo T7200* com recurso a 2 GB de memória RAM com velocidade de 533 MHz.

Os resultados seguidamente apresentados correspondem à resposta obtida por parte dos três modelos anteriormente descritos.

### 4.1.1 Aplicabilidade Geral

A presente subsecção efectua uma exposição dos resultados obtidos através de simulações feitas ao modelo proposto tendo como principal objectivo avaliar o espectro de aplicabilidade do mesmo. De salientar o facto dos resultados expostos se encontrarem associados a três modelos, dos quais um deles será o modelo proposto na dissertação em análise sendo os restantes usados como comparação. Inicialmente, apresentar-se-á um conjunto de resultados obtidos através de simulações efectuadas aos três modelos nos quais se poderá avaliar o primeiro ponto em análise e mencionado na secção 4.1 da presente dissertação, isto é, o tempo de convergência. Trata-se da representação do tempo exigido por cada um dos modelos submetidos a teste durante o período de reconhecimento do contorno em causa. Apresentar-se-ão dois conjuntos de resultados sendo estes diferenciados pelo seu nível de exigência no que se refere às capacidades do modelo. O primeiro conjunto de resultados resulta da utilização de formas simples colocadas em regiões de alto contraste, representando desse modo um nível de dificuldade mínimo. Assim, a figura 4.6 efectua uma apresentação das três imagens usadas para analisar o tempo de convergência de cada um dos três modelos, onde o modelo com a designação  $SV^2O^2C$  representará o modelo proposto na dissertação em observação, encontrando-se os restantes dois modelos com as seguintes designações, modelo *A*, modelo *B*.

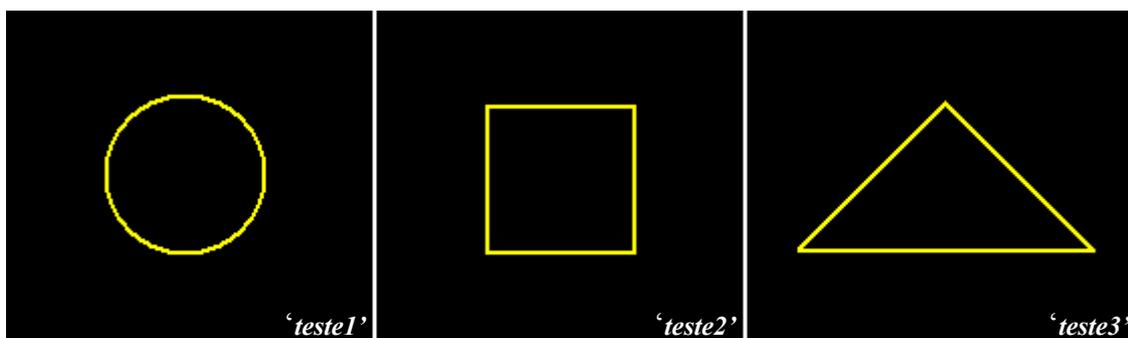


Figura 4.6 – Conjunto de imagens usadas no teste de nível 1.

Com o intuito de permitir uma análise clara das capacidades de cada um dos modelos, a figura 4.7 apresenta um registo gráfico resultante das respectivas respostas. Pretende-se que a análise à mesma suscite uma interpretação clara acerca da disparidade de valores obtidos aquando do emprego de cada um dos modelos, bem como uma identificação sobre o modelo que apresenta os melhores resultados.

## Tempo de Convergência - Nível 1

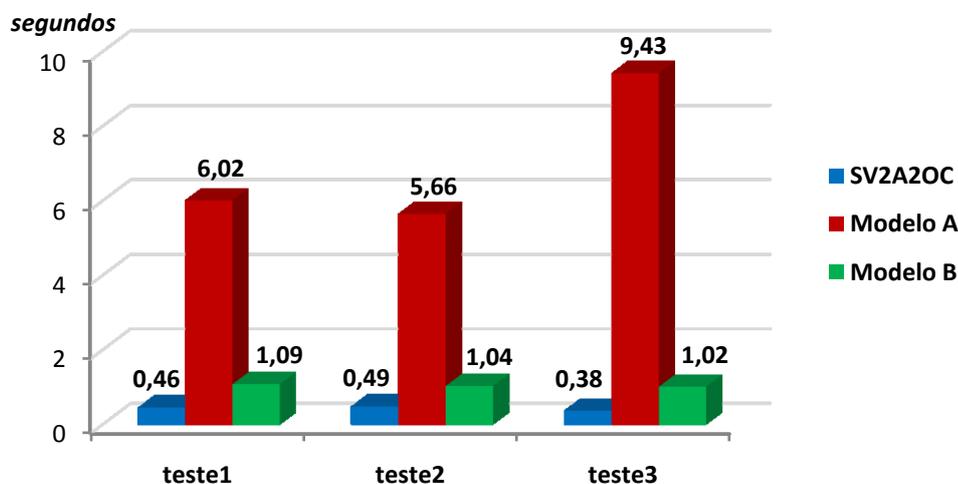


Figura 4.7 – Resultados obtidos no teste de convergência de nível 1.

O presente capítulo inclui uma secção onde se encontram as conclusões extraídas com base na leitura dos resultados obtidos. Contudo, entende-se como pertinente apresentar uma resumida análise sobre os dados apresentados na figura exposta anteriormente, figura 4.7.

O gráfico resultante expõe cada um dos três conjuntos de registos para cada uma das três simulações efectuadas com base em diferentes imagens. Uma breve análise à referida figura permitirá concluir que o modelo proposto na presente dissertação apresenta o melhor conjunto de valores registado. Apesar de se tratar do nível mínimo de exigência no que se refere às potencialidades exigidas, fica patente a vantagem obtida pelo modelo proposto nesta tese. A capacidade de reconhecimento define o segundo ponto tido em análise para permitir uma completa apreciação das capacidades do modelo proposto. Este permite avaliar a precisão de reconhecimento do modelo face ao contorno a que se destina identificar.

A figura 4.8 apresenta o resultado do processo dinâmico de cada um dos modelos quando submetidos à identificação do contorno presente em cada uma das imagens expostas através da figura 4.6.

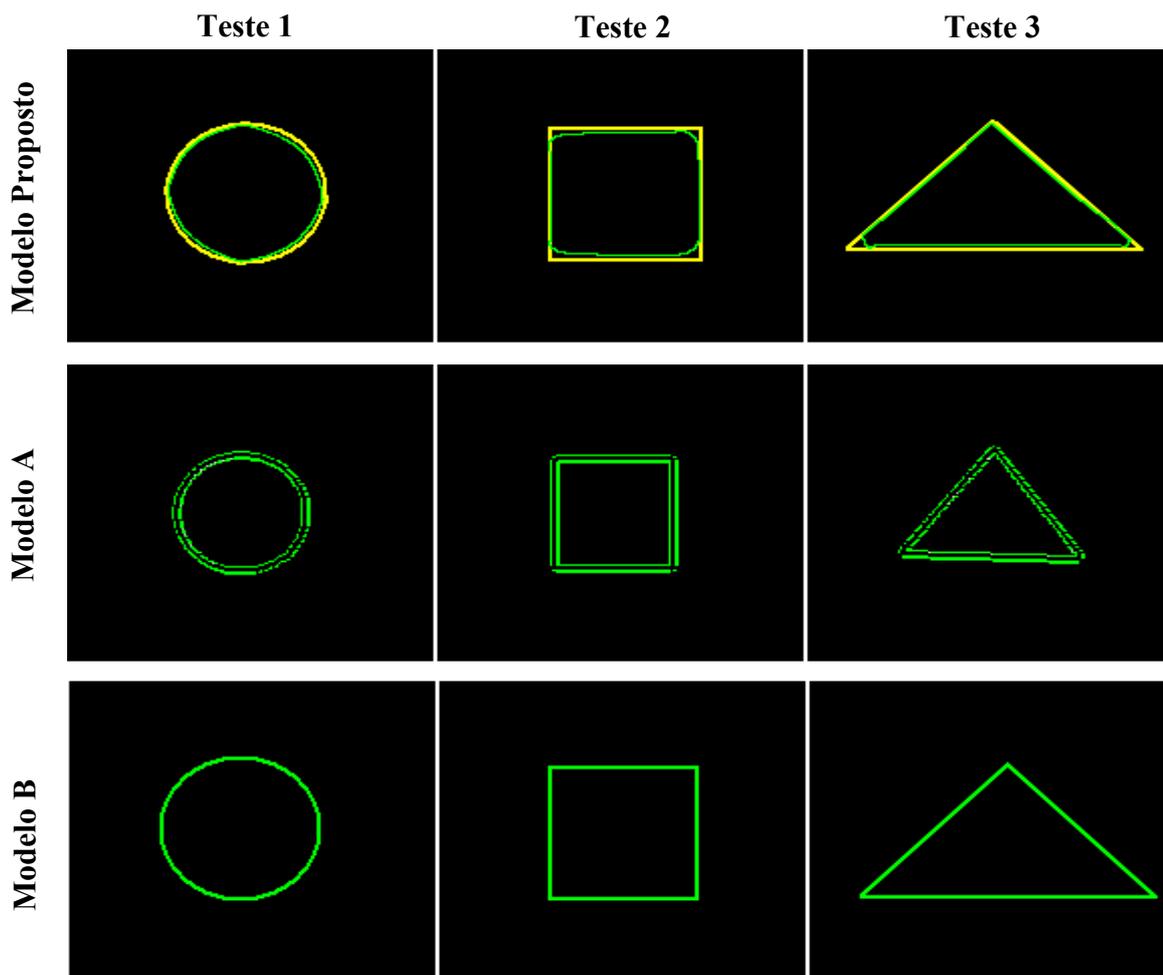


Figura 4.8 – Resultados obtidos no teste de reconhecimento de nível 1.

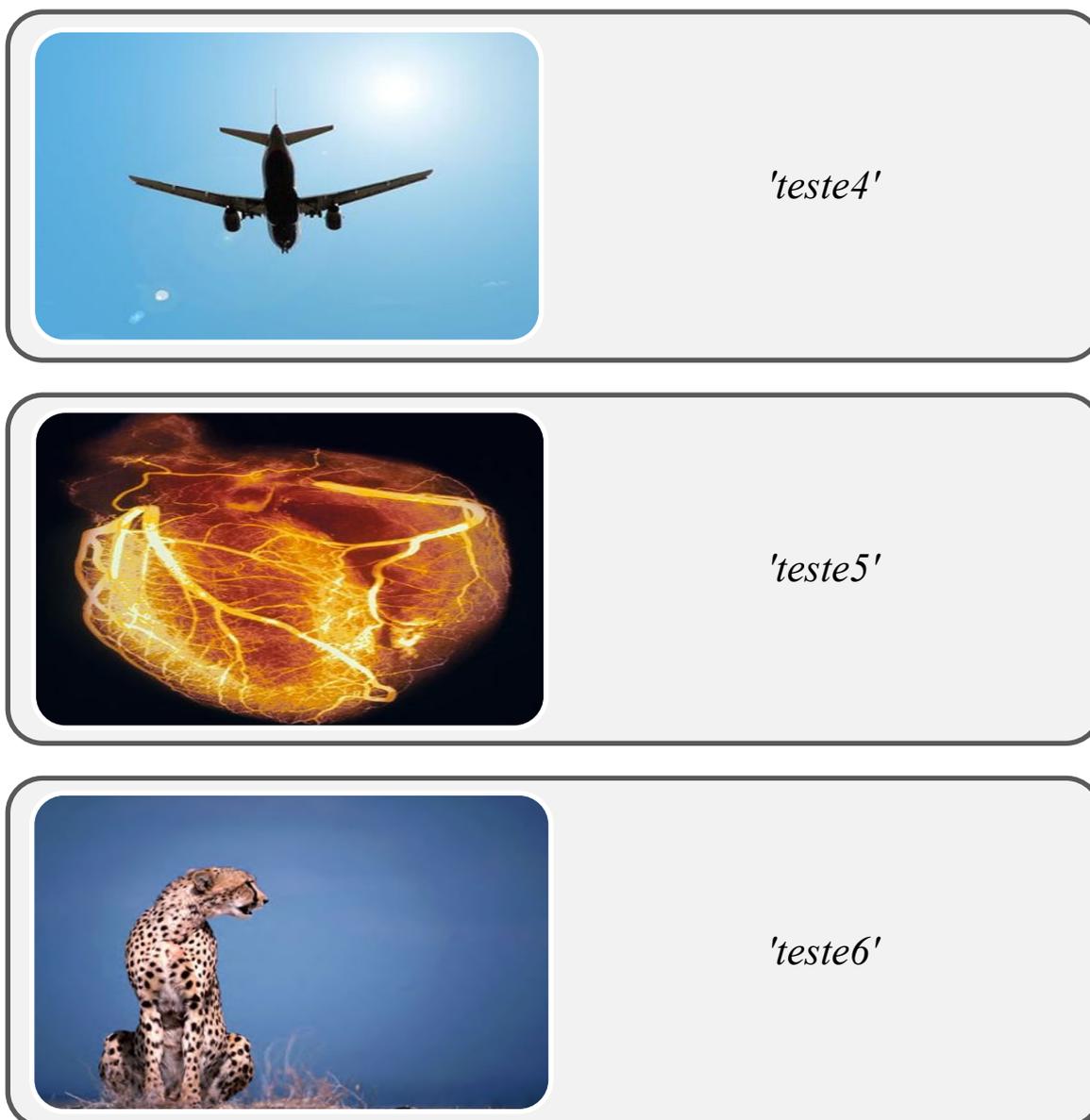
Pretendendo uma interpretação dos resultados observados na figura 4.8, importa referir a capacidade do modelo proposto relativamente à sua capacidade de reconhecimento quando submetido à identificação de contornos definidos através de zonas de elevado índice de curvatura, o qual se regista nas figuras denominadas por *teste2* e *teste3*.

Poder-se-á antever que uma primeira análise aos resultados obtidos motivaria a conclusão acerca da menor capacidade de reconhecimento por parte do modelo proposto na presente dissertação. Porém, importa não esquecer que se trata de um modelo cuja dinâmica e consequente capacidade de reconhecimento assentam num suporte capaz de controlar, as características internas do mesmo, entenda-se elasticidade e flexibilidade, ao contrário dos restantes modelos cuja capacidade depende inteiramente do contraste registado na respectiva imagem. Assim, verificar-se-á que para imagens onde o contraste não se encontra minimamente definido, estes assumem particular dificuldade na identificação do contorno em análise.

Com o intuito de apresentar um estudo completo, entendeu-se como pertinente a submissão dos modelos a um conjunto de teste de complexidade superior à registada no conjunto apresentado anteriormente. Trata-se do conjunto de imagens denominado por nível dois. Este diferencia-se do anterior pela superior irregularidade na forma do contorno alvo de identificação, pelo menor contraste registado entre a figura em análise e a restante informação contida na imagem, bem como pela dimensão da respectiva forma presente em cada uma das imagens.

Na figura 4.9 poder-se-á tomar conhecimento das três imagens utilizadas para a avaliação da velocidade de convergência e da capacidade de reconhecimento. As imagens constituintes deste conjunto foram seleccionadas com base num critério capaz de sujeitar os diversos modelos a um agrupamento de condicionantes próprias, nomeadamente a forma geométrica da estrutura presente na imagem, com o intuito de avaliar a capacidade de reconhecimento e o respectivo tamanho do próprio objecto, visando a análise à velocidade de convergência por parte de cada um dos modelos.

A denominação de cada uma das três imagens inseridas no nível em questão, ou seja, nível dois, verifica a continuidade dos títulos atribuídos às imagens consideradas de nível um, assim tem-se a primeira, segunda e terceira imagem com a designação, *teste4*, *teste5* e *teste6*, respectivamente.



**Figura 4.9 – Conjunto de imagens usadas no teste de nível 2.**

De acordo com o que se encontra mencionado anteriormente, as imagens presentes na figura 4.9 apresentam características diferentes das representadas através da figura 4.6.

Deste modo, pretende-se a submissão do processo dinâmico desenvolvido a um nível de exigência superior.

A figura 4.10 visa a apresentação dos resultados referentes aos três testes efectuados, no que respeita ao tempo de convergência por parte do contorno activo.

Tal como definido na mesma, trata-se do registo do tempo de convergência apresentado por cada um dos modelos face a cada uma das respectivas imagens. De notar a diferença registada no que respeita aos valores apresentados na figura 4.7, aquando da utilização do

conjunto de nível um. Todavia, a figura expressa de forma inequívoca e mais uma vez, a aptidão revelada pelo modelo desenvolvido na presente dissertação. De notar que a respectiva aptidão se refere unicamente ao ponto de análise em consideração, neste caso o tempo de convergência tomado por cada modelo em processo de comparação.

## Tempo de Convergência - Nível 2

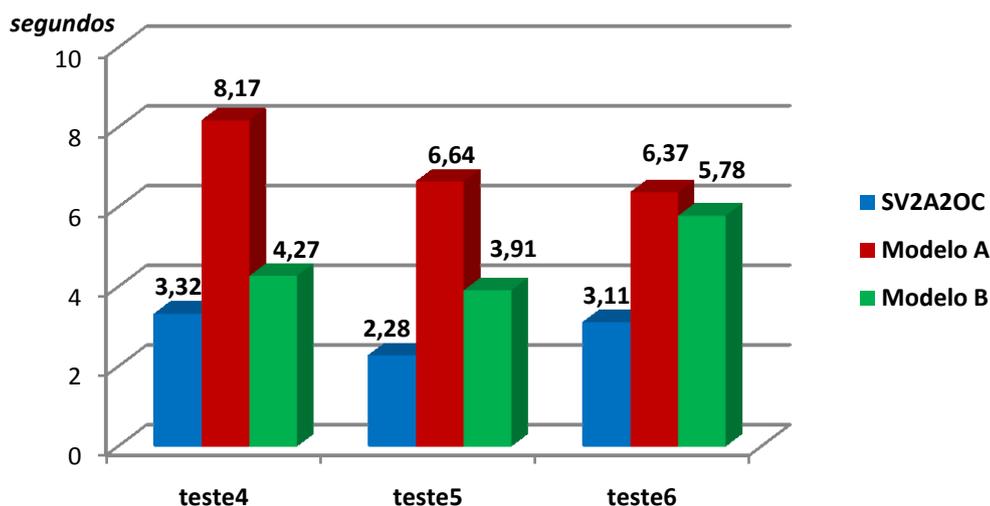
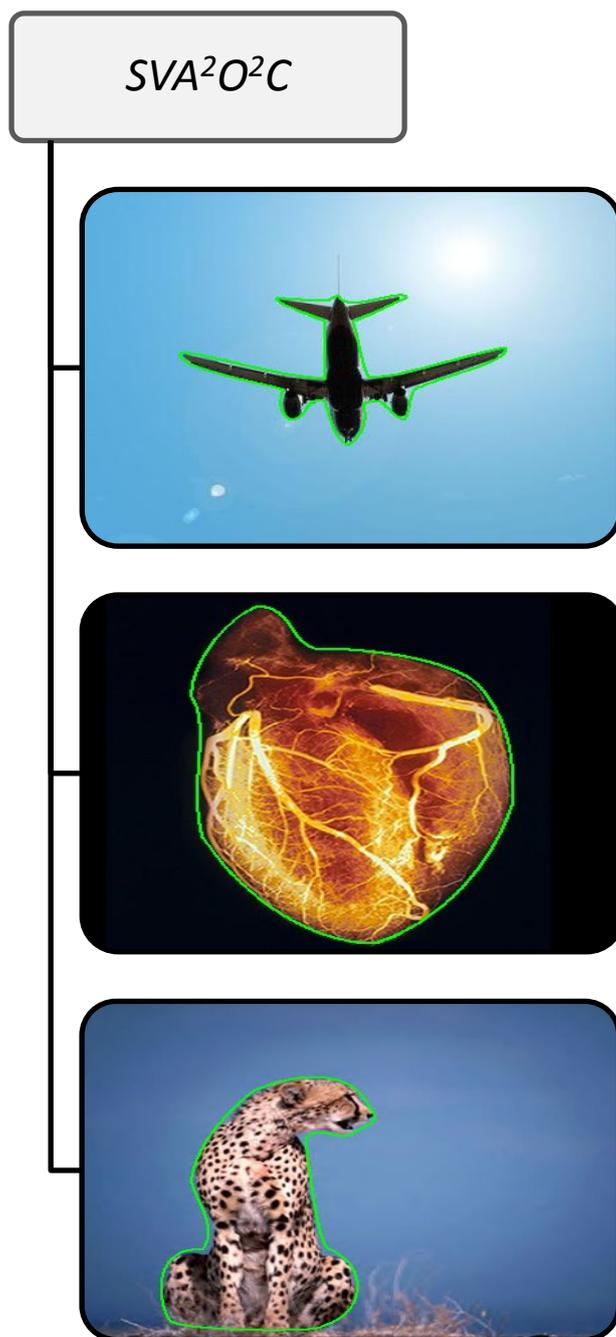


Figura 4.10 – Resultados obtidos no teste de convergência de nível 2.

À semelhança do que se apresenta registado na figura 4.7, também no teste considerado de nível exigência superior, denominado por nível dois, o modelo desenvolvido na presente dissertação regista os melhores resultados. Demonstra-se que o mesmo regista uma velocidade de convergência superior à verificada pelos restantes modelos, razão pela qual corresponde com os valores inferiores. Assim, atesta-se a melhor capacidade do modelo apresentado na tese em análise face aos restantes modelos avaliados.

Visando a conclusão da análise da presente consideração importa agora incluir a resposta de cada modelo no que respeita à capacidade de reconhecimento demonstrada. Assim, as figura 4.11, 4.12 e 4.13 pretendem a exposição do respectivo desempenho evidenciado no teste de análise à capacidade de reconhecimento por parte de cada interveniente, entenda-se modelo.



**Figura 4.11 – Resultados obtidos no teste de reconhecimento pelo modelo  $SVA^2O^2C$ .**

A figura 4.12 apresenta o resultado do processo de convergência produzido pelo modelo *A*. Pretende-se com a sua respectiva apresentação comprovar a diferença entre a sua capacidade de reconhecimento face à demonstrada pelo modelo proposto na presente dissertação. Esta encontra-se patente nas imagens *teste5* e *teste6*, sendo a identificação efectuada pelo respectivo modelo menos competente do que a registada pelo modelo proposto nesta tese.

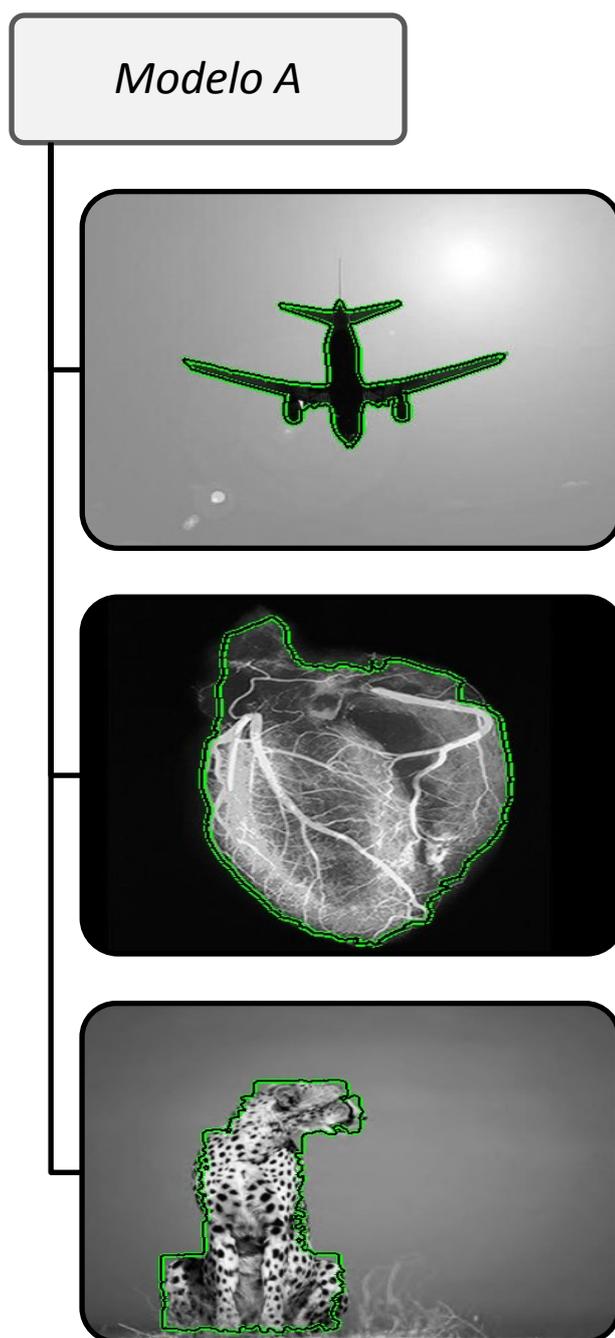
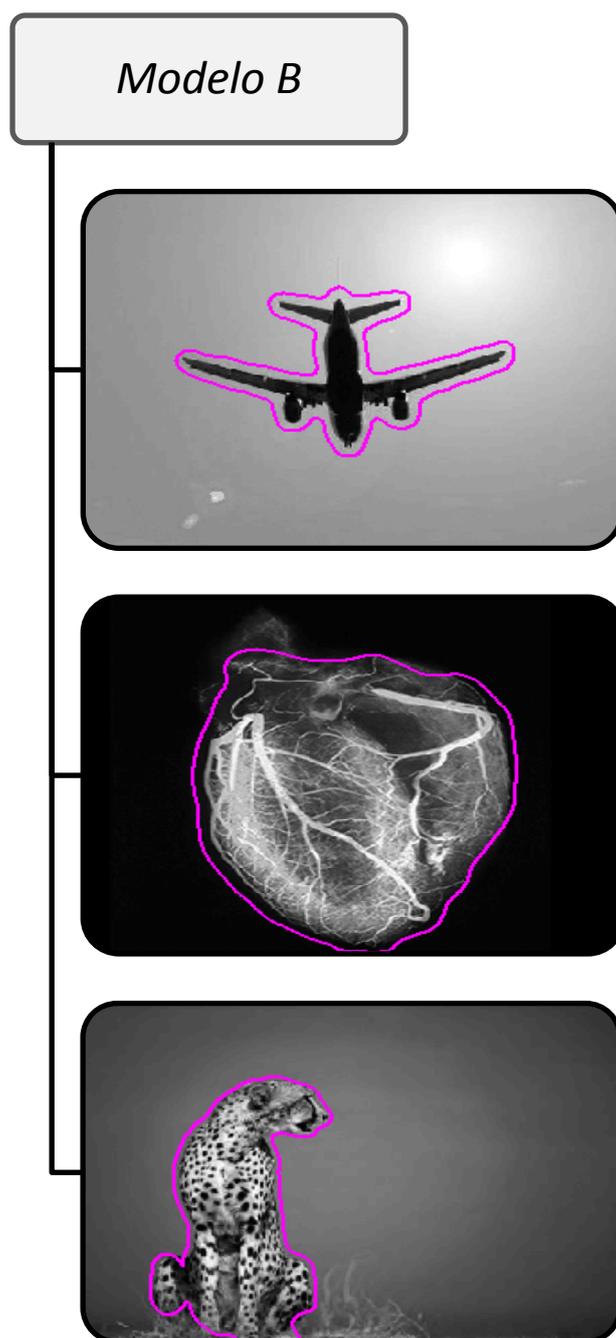


Figura 4.12 – Resultados obtidos no teste de reconhecimento pelo modelo *A*.

Através da figura 4.13 é possível analisar o resultado da identificação de contorno concebida pelo modelo *B*. Uma vez mais verifica-se a melhor capacidade do modelo proposto relativamente ao modelo *B*. Os resultados obtidos através das imagens *teste4* e *teste5* registam a maior disparidade de rigor relativamente à capacidade de reconhecimento demonstrada pelos referidos modelos.



**Figura 4.13 – Resultados obtidos no teste de reconhecimento pelo modelo B.**

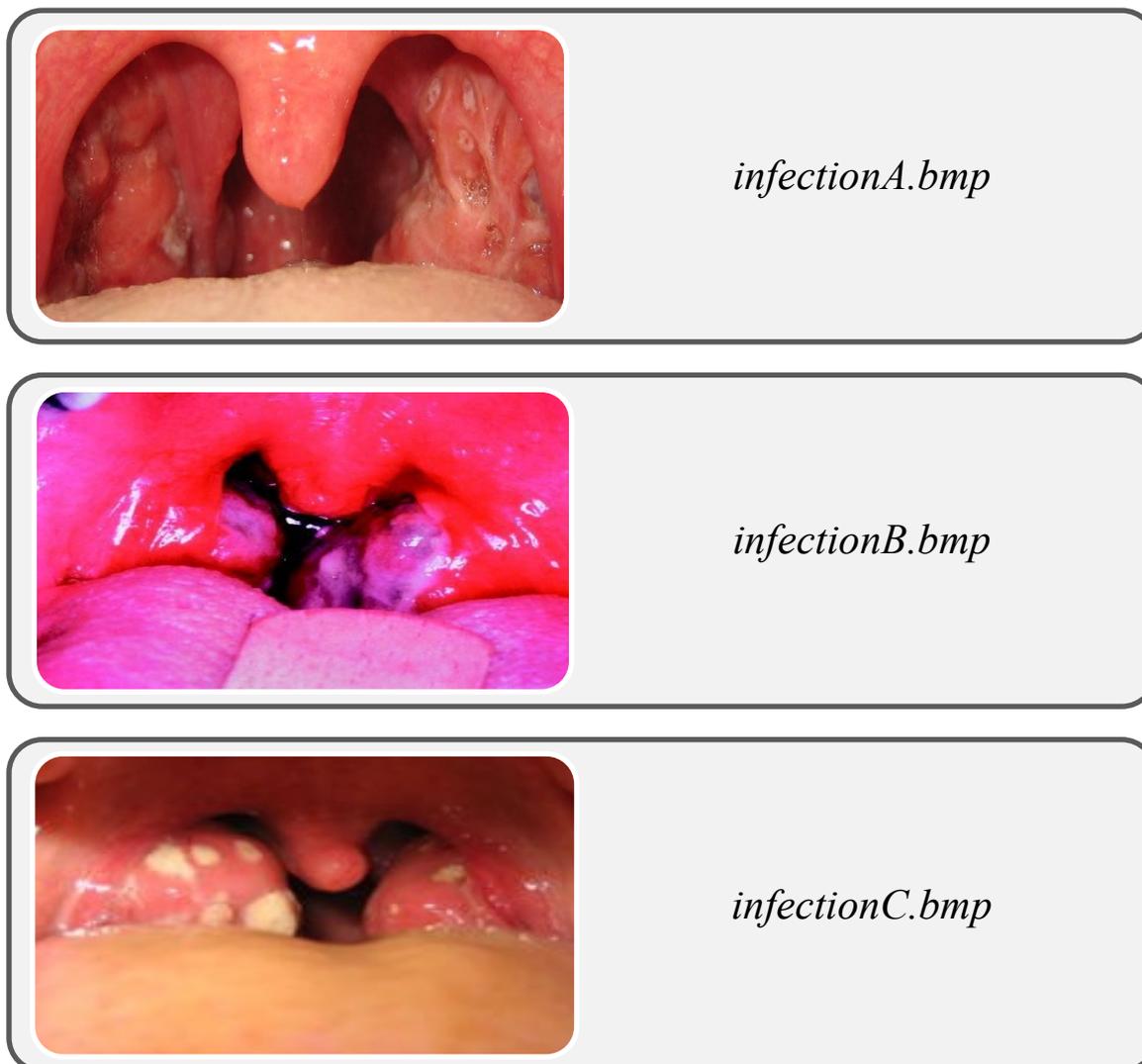
Relativamente ao primeiro ponto em análise, a velocidade de convergência, considera-se clara a vantagem do modelo proposto quando comparado com os restantes modelos. De igual modo, quando em consideração o segundo ponto de análise, a capacidade de reconhecimento, também é sobre o modelo proposto que recai maior destaque. A exposição das imagens resultantes do processo dinâmico de cada um dos modelos

pretendeu uma clara e completa interpretação da sua competência relativamente ao rigor na determinação da estrutura geométrica em análise.

A subsecção apresentada em seguida visa a apresentação dos resultados obtidos através da avaliação recorrendo a um conjunto de imagens referentes à orofaringe humana.

#### **4.1.2 Aplicabilidade Específica**

Tal como mencionado anteriormente, a presente subsecção tem o intuito de dar continuidade à análise da capacidade do modelo desenvolvido, relativamente à velocidade de convergência. No entanto, pretende-se com a presente subsecção submeter o modelo a um conjunto de testes de carácter específico, ou seja, a imagens do foro médico, nomeadamente representativas da secção intermédia da faringe humana, a orofaringe. Deste modo, o referido estudo pretende validar a aplicabilidade do modelo na área a que se destina. De salientar que a subsecção 4.1.1 pretendia comprovar a capacidade do contorno activo implementado, perante cenários de carácter geral. A figura 4.14 ilustra o conjunto de imagens seleccionadas para a execução do estudo em análise.



**Figura 4.14 – Conjunto de imagens seleccionadas para teste específico.**

A análise ao conjunto de imagens apresentadas através da figura 4.14 permite concluir que as características que as definem são distintas das observadas nas figuras 4.6 e 4.9.

Verifica-se claramente o quase inexistente contraste presente nas imagens do conjunto apresentado na figura 4.14. Trata-se da principal dificuldade verificada no processo de construção do mapa de energia potencial associado. Demonstra-se desta forma o papel determinante que representa neste tipo de situação, a facilidade desenvolvida com a designação *Demarcação*, a qual, repita-se, permite ao utilizador a definição precisa do contorno presente na imagem, segundo a interpretação por este efectuada.

## Tempo de Convergência - Análise Específica

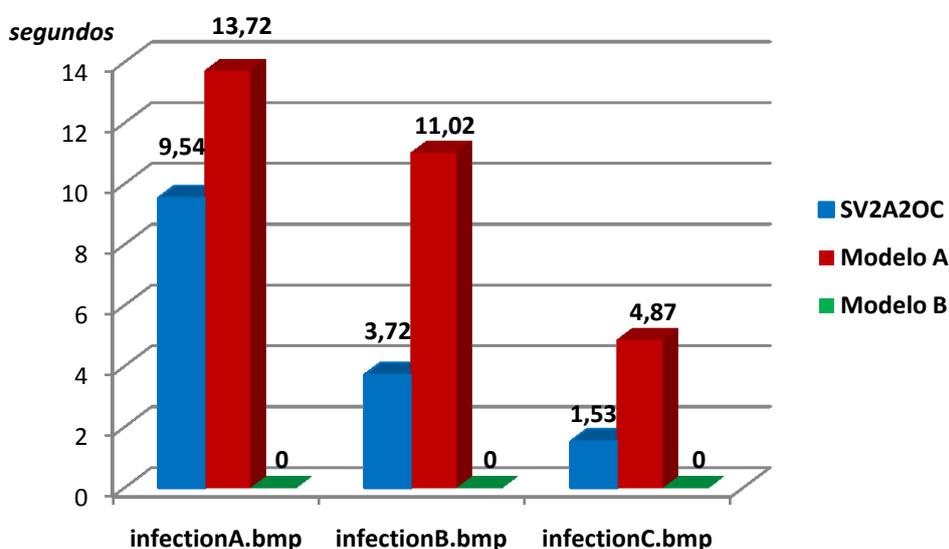


Figura 4.15 – Resultados obtidos no teste de convergência na análise específica.

Permite-se, com base numa breve leitura à figura 4.15, concluir uma vez mais acerca da superioridade verificada no modelo desenvolvido e descrito na presente tese. Pese embora a dificuldade registada no processo de convergência motivado pelo fraco contraste evidenciado nas imagens submetidas a avaliação, o modelo idealizado verifica a sua capacidade no que respeita à velocidade com que detecta a forma presente numa determinada imagem.

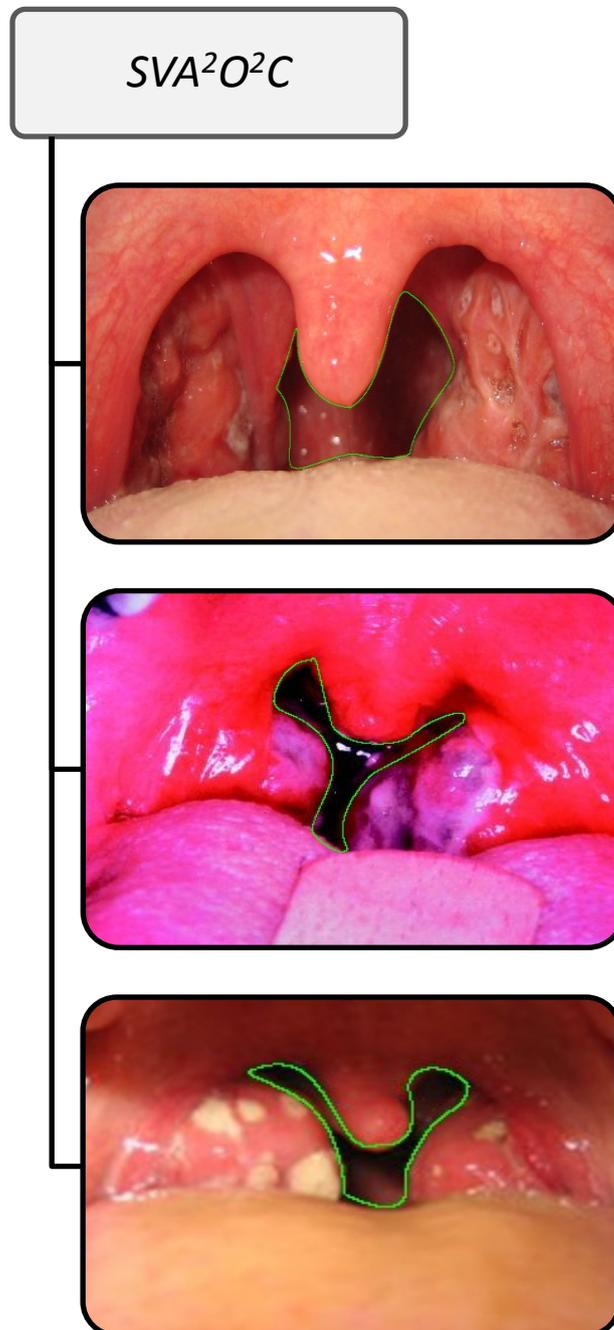
De referir, com particular destaque, o facto de a funcionalidade desenvolvida e apresentada na subsecção 3.3.5 ter desempenhado um papel de grande importância e utilidade na obtenção de tais resultados. Permitiu demarcar parte do contorno da estrutura pretendida, nomeadamente em zonas onde não era perceptível qualquer contraste, possibilitando em consequência o mapa da energia potencial correspondente.

De notar que a ausência de registo no que se refere à apresentação de valores por parte do modelo *B* se deve ao facto de este não ter demonstrado a capacidade mínima de forma a permitir a correcta convergência do respectivo contorno activo.

Importa mencionar e até reforçar o facto de as imagens consideradas carecerem de uma manifestação de contraste adequada. Este aspecto leva a que os modelos desenvolvidos com o propósito de identificação de contornos se deparem com uma dificuldade acrescida

quando perante o seu processo dinâmico. Contudo, as funcionalidades e características apresentadas pelo modelo proposto permitem a superação das mesmas.

A figura seguidamente exposta apresenta o posicionamento final por parte do contorno activo suportado pelo modelo proposto na presente dissertação.



**Figura 4.16 – Resultados obtidos no teste de reconhecimento pelo modelo proposto.**

O contorno activo encontra-se assim sob o seu estado de equilíbrio, ou seja, os seus pontos de controlo situam-se sobre as regiões de valor máximo de energia potencial. Os

resultados obtidos consideram-se francamente satisfatórios tendo em conta a correcta identificação concebida por parte do respectivo modelo. De notar que a identificação efectuada foi alvo de um processo de optimização produzido pela funcionalidade descrita na subsecção 3.3.5.

A figura seguidamente apresentada, 4.17, demonstra o resultado obtido através da aplicação do modelo *A*.

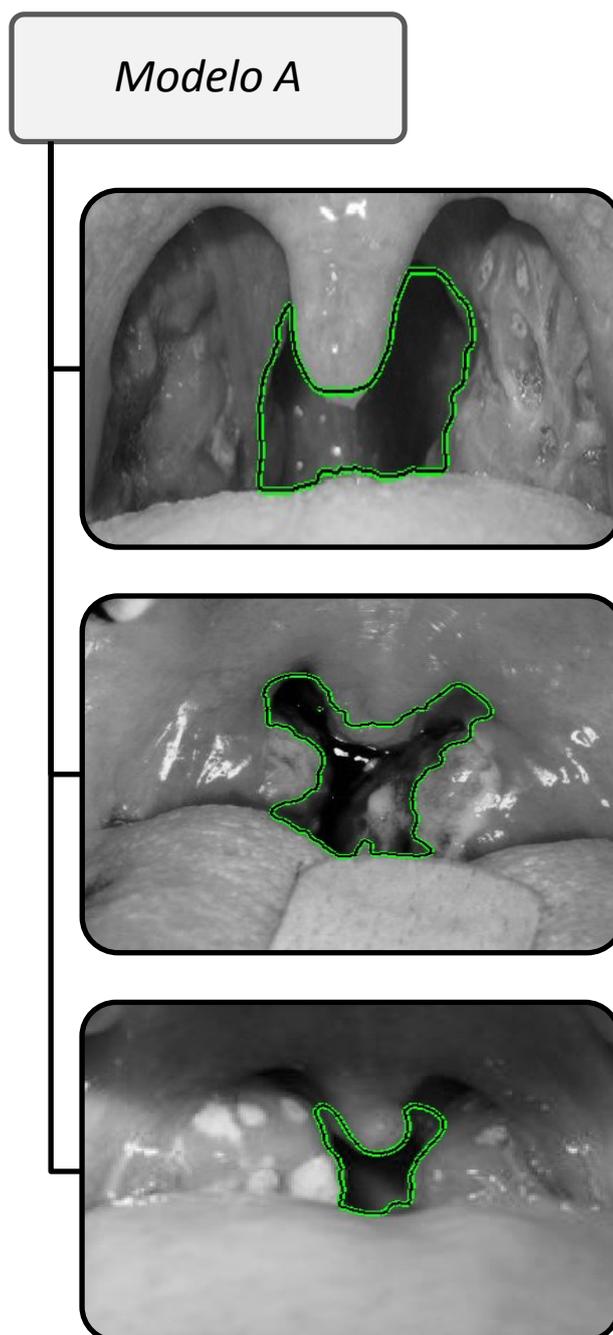
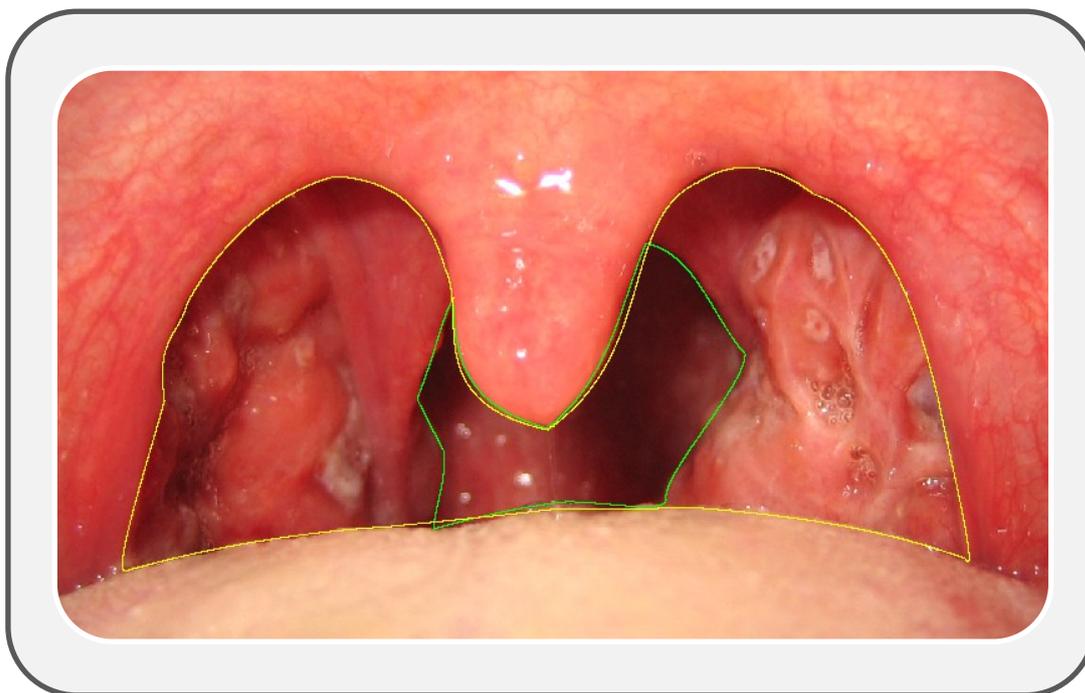


Figura 4.17 – Resultados obtidos no teste de reconhecimento pelo modelo *A*.

Tal como se comprova através da análise à mesma, o reconhecimento resultante carece de alguma exactidão e rigor, não demonstrando semelhante capacidade de reconhecimento quando comparada com a do modelo anterior.

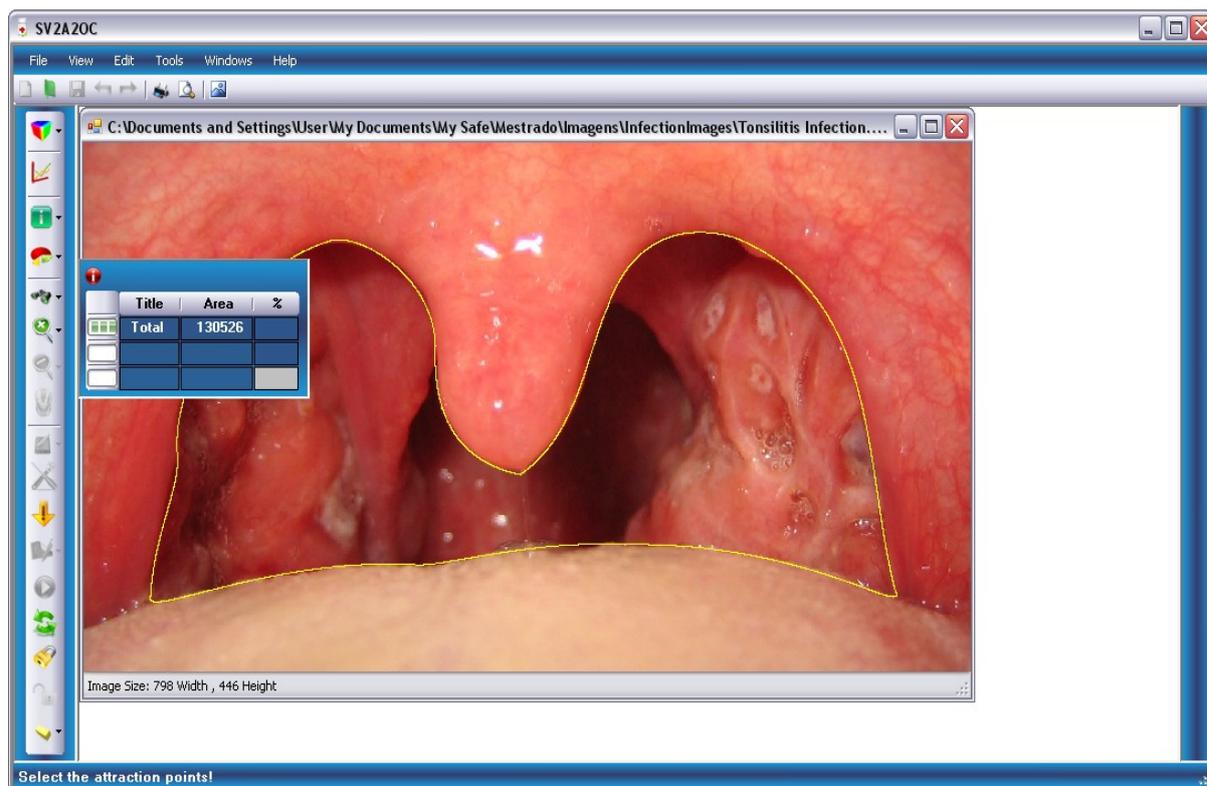
## 4.5 Demonstração Aplicacional

A presente secção visa a apresentação de um exemplo de aplicação do modelo proposto, tendo como objectivo a respectiva identificação dos contornos presentes na figura 4.18. A respectiva secção apresentará uma demonstração do cálculo da relação entre a área livre, identificada pelo modelo proposto através de uma linha verde e a área total demarcada pelo modelo usando uma linha amarela. De notar que a relação calculada será expressa em termos percentuais.



**Figura 4.18 – Demarcação das regiões consideradas.**

A figura seguinte ilustra o quadro de medições referente à região segmentada pelo modelo através da linha amarela, considerada como região total.



**Figura 4.19 – Representação da medição referente à região total.**

O valor obtido através do processo de segmentação é de cento e trinta mil quinhentos e vinte e seis *pixels*, para a respectiva região.

A figura 4.20 permitirá a visualização do valor correspondente à região livre e consequentemente da relação entre ambas as regiões, ou seja, região total e região livre. De acordo com a análise da respectiva figura a relação entre ambas as regiões é de aproximadamente vinte e um por cento, o que significa neste caso que a região livre representa vinte e um por cento da região total considerada. De referir que a medição das diversas regiões e consequente relação entre elas representa o principal propósito da aplicação desenvolvida, na qual é usado o modelo proposto nesta dissertação.

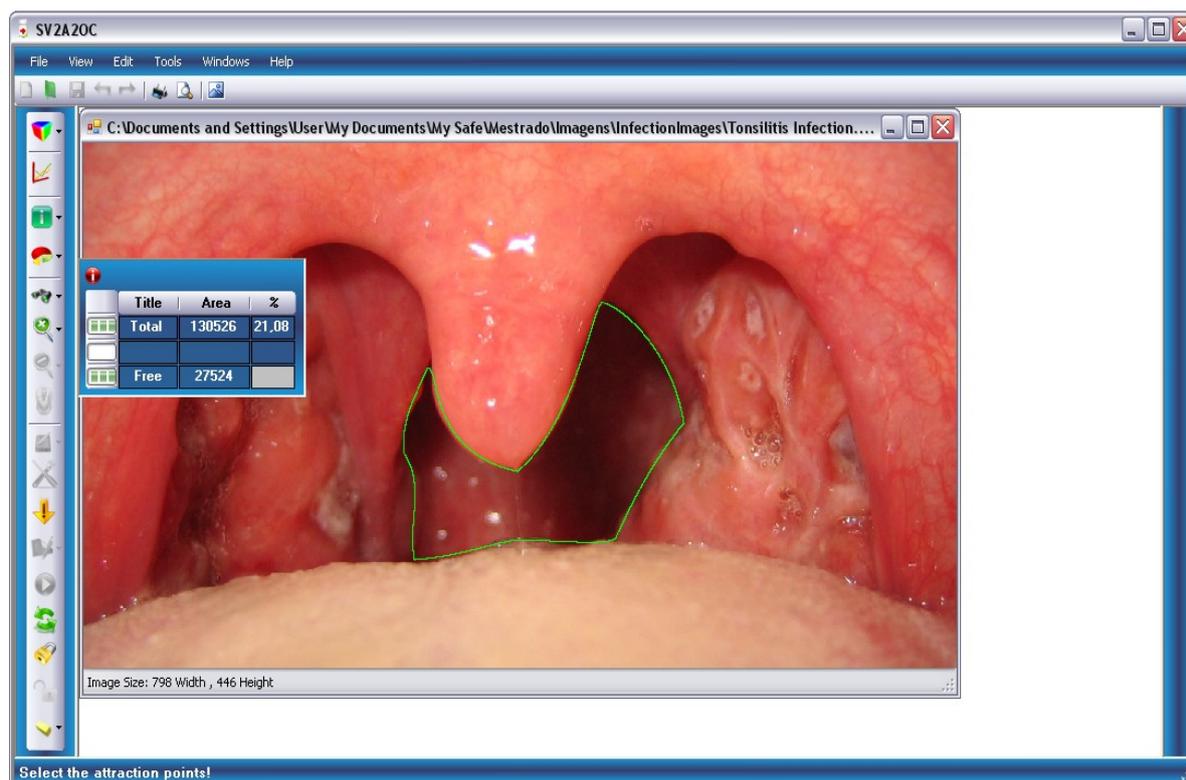


Figura 4.20 – Representação da medição referente à relação entre as regiões consideradas.

## 4.6 Discussão

A relevância do capítulo apresentado encontra-se no facto de este permitir uma análise e respectiva consideração relativa às capacidades do modelo proposto quando submetido ao processo de identificação para o qual foi desenvolvido, neste caso para identificação de contornos.

Relativamente à estrutura, trata-se de um capítulo constituído por três secções. A primeira, *Pontos em Análise*, visou a apresentação dos pontos de análise, tempo de convergência e a capacidade de reconhecimento. Os referidos pontos de análise pretendem uma avaliação no que respeita à competência do modelo face ao cenário de identificação de contornos, permitindo igualmente um conhecimento claro relativamente à superior capacidade do mesmo quando comparado com outros modelos desenvolvidos com propósito idêntico. A segunda secção, *Ambiente Gráfico*, visou uma célere apresentação da *graphical user interface* (GUI) concebida com o intuito de fornecer ao utilizador uma plataforma de controlo e aplicação do modelo proposto na dissertação em análise, bem

como permitir a utilização de um conjunto de funcionalidades vocacionadas para o processamento de imagem. De referir que se encontra em anexo, designado por *Manual da Aplicação*, uma completa descrição relativa à GUI desenvolvida. O referido anexo é composto pela apresentação de cada uma das funcionalidades desenvolvidas e respectiva descrição.

A terceira e última secção do presente capítulo, *Resultados*, apresentou um conjunto de resultados referente à avaliação de cada um dos pontos de análise considerados. De referir que a intenção de uma completa análise e consequente determinação do espectro de aplicabilidade do modelo em destaque, motivou a segmentação da secção 4.3 em duas subsecções, uma com o objectivo de enquadrar o modelo num cenário de carácter geral, analisando desse modo a aplicabilidade do modelo em diversas áreas, permitindo igualmente a correcta interpretação da robustez do modelo, e uma segunda subsecção destinada à avaliação das capacidades do mesmo enquadrado no cenário para o qual foi desenvolvido.



# CAPÍTULO 5.

## CONCLUSÕES

---

O presente capítulo pretende apresentar uma síntese geral sobre a hipótese formulada no primeiro capítulo bem como exhibir os respectivos conceitos face ao trabalho desenvolvido ao longo da presente dissertação. Posteriormente encontram-se resumidos os principais contributos da dissertação apresentada, bem como as direcções para trabalho futuro.

### 5.1 Síntese Geral

Na presente dissertação, concretamente na secção 1.3, foi enunciada uma hipótese de inovação sobre o modelo de contorno activo convencional. A mesma propunha uma reconfiguração à formulação convencional através da utilização conjugada de conceitos inovadores, com especial destaque para a implementação das curvas de *Bézier*, bem como a aplicação da energia potencial como representação da energia externa do modelo. Não obstante, a dissertação incorpora um vasto leque de noções de desenvolvimento único as quais viabilizaram o trabalho desenvolvido na realização da tese em análise.

A dissertação aborda o desenvolvimento de um modelo de contorno activo, suportado por uma reformulação do conceito convencional, de modo a permitir a supressão dos aspectos condicionantes registados pelo mesmo, de referir a dependência da capacidade de convergência relativamente ao posicionamento inicial do contorno activo e a dificuldade na selecção de coeficientes de configuração adequados de forma a obter um reconhecimento válido. O capítulo dois visa um enquadramento teórico relativo ao suporte desenvolvido no modelo convencional, apresentando igualmente uma descrição acerca das curvas de *Bézier*. Assim, trata-se do capítulo responsável pela explanação do conteúdo teórico usado como suporte ao desenvolvimento do modelo apresentado. De referir que contém ainda uma exposição de conhecimento relativa à anatomia da faringe humana, considerando-se a referida exposição como válida na compreensão da estrutura anatómica em consideração.

A metodologia do modelo idealizado encontra-se apresentada através da exposição do terceiro capítulo, no qual se descrevem detalhadamente os conceitos desenvolvidos com o intuito de conceber um modelo cuja capacidade verificasse a anulação dos condicionalismos verificados pelo modelo convencional. O quarto capítulo surge da intenção de apresentar os resultados obtidos nos diversos testes a que se submeteu o modelo proposto. Contempla conjunto de respostas produzidas como resultado da análise dos pontos de avaliação determinados, a mencionar o tempo de convergência do modelo e a capacidade de convergência do mesmo. Sendo que a tentativa de comparação do modelo face ao que se encontra previamente desenvolvido, motivou a introdução de dois modelos com propósitos idênticos, ou seja, a determinação de contornos, de forma a permitir uma avaliação ainda mais completa sobre as competências registadas pelo modelo desenvolvido.

## 5.2 Validação da Hipótese

Considera-se que a legitimidade da tese em análise assenta na verificação e consequente constatação da hipótese proposta pela mesma.

Na hipótese formulada afirmou-se o seguinte:

*“Com base no cenário equacionado na secção 1.2, da manifesta necessidade de elaboração de um modelo baseado em contornos activos, é possível desenvolver uma metodologia suportada por modelos deformáveis reconfigurados, que posteriormente através de uma interface gráfica possibilite a detecção e identificação dos contornos presentes em regiões de interesse específico aos especialistas de otorrinolaringologia pediátrica.”*

Considera-se com base na análise aos resultados obtidos e apresentados no capítulo quatro, que o modelo idealizado e desenvolvido permite a verificação do que se encontra atestado na hipótese sugerida. Verifica-se que a reformulação efectuada ao modelo convencional permite uma adequada detecção e identificação dos contornos presentes em imagens do respectivo âmbito. A interpretação dos resultados apresentados permite concluir acerca da capacidade do modelo reformulado no processo dinâmico para o qual foi concebido. Assim, consideram-se apresentados os argumentos requeridos à validação da hipótese formulada na secção 1.3.

### 5.3 Conclusões

Na presente dissertação foram abordados diversos temas referentes a uma área cada vez mais emergente no panorama actual, os contornos activos. Trata-se de uma ferramenta desenvolvida com o objectivo de identificar uma dada particularidade registada num determinado conteúdo. O seu espectro de aplicabilidade é considerado vasto e o seu préstimo claramente reconhecido. É possível comprovar a sua utilidade nas mais diversas áreas, desde a medicina ao desporto, contemplando de igual modo a área da segurança.

O foco da dissertação estabeleceu-se na utilização dos referidos contornos activos como instrumento de demarcação de diferentes regiões presentes na imagem da orofaringe humana, a referir a zona considerada livre, a ocupada e a área total. De notar que a definição das regiões referidas se encontra patente no capítulo dois.

O desenvolvimento desta tese representou um motivo de enorme satisfação, sendo esta consideração baseada em três factores. O primeiro factor diz respeito ao enorme desafio a que se proponha, tendo em conta a avaliação efectuada com o intuito de encontrar uma solução que permitisse a concretização do objectivo da dissertação, antevendo dessa forma uma tarefa aliciante. A referida avaliação refere-se à análise do problema apresentado e consequente levantamento e estudo de conceitos considerados válidos para a resolução do mesmo. O segundo tem que ver com o sucesso na concepção de um modelo cujo processo dinâmico se baseia em conceitos inovadores e de válida contribuição. O terceiro e último relaciona-se com o facto de se considerar o conceito idealizado e implementado como de grande utilidade às mais diversas áreas na respectiva condição a que se destina. Importa referir que desta forma será agora possível fornecer aos especialistas de otorrinolaringologia pediátrica uma ferramenta cuja capacidade lhes permitirá determinar o grau de obstrução da orofaringe humana, representando desta feita um motivo de particular orgulho uma vez que se entende como garantido o desenvolvimento de uma ferramenta disposta ao serviço da comunidade, motivando as respectivas vantagens quer no diagnóstico quer no tratamento da patologia em questão, neste caso a amigdalite.

Continuando com as considerações relativas às contribuições prestadas pela presente dissertação, importa referir os principais destaques do modelo proposto, ou seja, a sua capacidade na supressão das dificuldades apresentadas pelo modelo convencional e a sua comprovada versatilidade. Estabelecendo uma análise aos modelos existentes, conclui-se que todos apresentam vantagens num ambiente específico, porém, quando submetidos a um espectro de aplicabilidade mais abrangente as suas dificuldades tornam-se claramente

patentes. Foi com base deste ponto de vista que surgiu a ideia de reformular o modelo convencional, conjugando diversos conceitos num único modelo. Assim, apresenta-se como principal contribuição desta dissertação para o mundo científico a prova inequívoca da versatilidade e alargado espectro de aplicabilidade do modelo proposto.

## 5.4 Perspectivas de Trabalho Futuro

O trabalho desenvolvido nesta dissertação focou aspectos teóricos e aspectos práticos, relacionados com os contornos activos. Contudo, parte destes aspectos apresentam limitações. Seguidamente identificam-se os aspectos sobre os quais considera-se interessante uma abordagem no futuro.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação considera-se como de abrangência considerável tendo em conta os diversos conceitos que aborda. Porém, pese embora o facto de o modelo proposto apresentar uma elevada robustez e versatilidade acredita-se que o modelo padece certamente de eventuais limitações. Assim, entende-se como benéfico efectuar um estudo sobre a aplicabilidade da aplicação desenvolvida, quando submetida a uma utilização frequente por parte dos profissionais de saúde. Deste modo, seria possível um útil ajuste na mesma de forma a apresentar as melhores características de funcionalidade.

É também parte integrante do conjunto de perspectivas para o desenvolvimento de um trabalho futuro a experimentação de algoritmos genéticos com o objectivo de identificar coeficientes responsáveis por uma segmentação do contorno adequada. De notar que os coeficientes referidos dizem respeito aos coeficientes de elasticidade e/ou flexibilidade. Os algoritmos genéticos seriam aplicados como meio de selecção dos respectivos coeficientes. Deste modo, seria possível avaliar o nível de aplicabilidade dos algoritmos genéticos para o propósito referido.

## BIBLIOGRAFIA

---

- [Amini 1990] A. Amines, T. Weymouth, R. Jain; "Using Dynamic Programming for Solving Variational Problems in Vision", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12:855-867, 1990.
- [Amorim 1997] António Amorim; "Enciclopédia de Medicina", ISBN:972-609-053-9; 1997.
- [Ballerini 1999] Lucia Ballerini; "Genetic snakes for medical images segmentation", *Lectures Notes in Computer Science*, ISBN: 1596:59-73, 1999.
- [Blake 1998] Andrew Blake, Michael Isard; "Active Contours", ISBN: 3-540-76217-5, 1998.
- [Bartels 1998] Richard Bartels, John Beatty, Brian Barsky; "Bézier Curves." Ch. 10 in *An Introduction to Splines for Use in Computer Graphics and Geometric Modelling*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, pp. 211-245, 1998.
- [Billings 2009] "Billings MRI Center", 2009. Disponível em [www.billingsmricenter.com](http://www.billingsmricenter.com)
- [Bresson 2009] Xavier Bresson; "A Short Guide on a Fast Global Minimization Algorithm for Active Contour Models", 2009. Disponível em <http://www.math.ucla.edu/~xbresson/papers/guide%20global%20active%20contours.pdf>.
- [Caselles 1995] Vicent Caselles, Ron Kimmel, Guillermo Sapiro; "Geodesic active contours," in *Proc. Fifth Int. Conf. on Comp. Vis.*, pp. 694-699, 1995.
- [Caselles 1997] Vicent Caselles, Ron Kimmel, Guillermo Sapiro; "Geodesic Active Contours", *International Journal of Computer Vision*, 22(1):61-79, 1997.
- [Cohen 1991] Laurent Cohen., "On Active Contour Models and Balloons", *Computer Vision, Graphics and Image Processing: Image Understanding*, 53(2):211-218, 1991.
- [Educação 2009] "Mundo Educação", 2009. Disponível em <http://www.mundoeducação.com>.

- [Fau 2009] Xu Fau; "Anatomy of the Respiratory System", 2009. Disponível em <http://www.fau.pearlashes.com>.
- [Fischler 1973] Martin Fischler, Robert Elschlager; "The representation and matching of pictorial structures," *IEEE Trans. on Computers*, vol. 22, no. 1, pp. 67-92, 1973.
- [Giraldi 2000] Gilson Giraldi, Luis Gonçalves, António Oliveira; "Dual Topologically Adaptable Snakes", *Proceedings of the Third International Conference on Computer Vision, Pattern Recognition, and Image Processing*, 1:103-106, 2000.
- [Goldengerg 2001] Roman Goldengerg, Ron Kimmel, Ehud Rivlin, Rudzsky, Michael Rudzsky; "Fast Geodesic Active Contours", *IEEE Transactions on Image Processing*, 10(10):1467-1475, 2001.
- [Goldstein 2009] Tom Goldstein, Xavier Bresson, Stanley Osher; "Geometric Applications of the Split Bregman Method: Segmentation and Surface Reconstruction", 2009.
- [Jacob 2002] Mathews Jacob, Thierry Blu; "IEEE - 3-D Reconstruction of DNA Filaments from Stereo Cryo-Electron Micrographs", 2002.
- [Kass 1987] Michael Kass, Andrew Witkin, Demetri Terzopoulos; "Snakes: Active Contour models", *Proceedings of first International Conference on Computer Vision*, London, ISBN: 1:259-269, 1987.
- [Kichenassamy 1995] Satyanad Kichenassamy, Peter Olver, Allen Tannenbaum, Anthony Yezzi; "Gradient Flows and Geometric Active Contour Models", *Proc. International Conference on Computer Vision*, Cambridge, 1995.
- [Malladi 1995] Ravikanth Malladi, James Sethian, Baba Vemuri; "Shape modeling with front propagation: A level set approach," *IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 17, no. 2, pp. 158-175, 1995.
- [McInerney 1995] Tim McInerney and Demetri Terzopoulos; "A dynamic finite element surface model for segmentation and tracking in multidimensional medical images with application to cardiac 4D image analysis," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 19, no. 1, pp. 69-83, 1995.

- [McInerney 1996] Tim McInerney, Demetri Terzopoulos; "Deformable models in medical image analysis: a survey," *Medical Image Analysis*, vol. 1, no. 2, pp. 91-108, 1996.
- [Morse 2000] Bryan Morse; "Region Based Segmentation", 2000.
- [Nixon 2002] Mark Nixon, Alberto Aguado; "Feature Extraction and Image Processing", ISBN: 0750650788, 2002,
- [OncologyChannel 2009] "Oncology Channel Homepage", 2009. Disponível em <http://www.oncologychannel.com>.
- [Oruç 2003] Halil Oruç, George Phillips; " $q$ -Bernstein polynomials and Bézier curves" *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Volume 151, Number 1, pp. 1-12, 1 February 2003.
- [Otsu 1979] N. Otsu; "A threshold selection method from gray-level histogram," *IEEE Transactions on System Man Cybernetics*, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66, 1979.
- [Park 2001] Jaesang Park, James Keller; "Snakes on the Watershed", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23(10):1201-1205, 2001.
- [Pérez 2000] Fernández Pérez, Antonio Falcón; "Active Contours with Wavelet Basis", *V Ibero American Symposium on Pattern Recognition, SIARP'2000*, Lisbon, 1:423-432, 2000.
- [Radeva 1993] P. Radeva, J. Serrat; "Rubber Snake: Implementation on Signed Distance Potencial", *Proc. International Conference SWISS Vision'93*, Zurich, 1:187-194, 1993.
- [Saffer 1999] M Saffer ; "A criança respirador bucal". In: Chinski A, SihT. *II Manual de Otorrinolaringologia Pediátrica da IAPO*, p. 170-80. São Paulo; 1999.
- [Widrow 1973] Bernard Widrow; "The "rubber-mask" technique," *Pattern Recognition*, vol. 5, pp. 175-211, 1973.
- [Williams 1992] Donna Williams, Mubarak Shah; "A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimation", *Computer Vision, Graphics and Image Processing: Image Understanding*, 55:14-26, 1992.
- [Xu 1997] Chenyang Xu, Jerry Prince; "Gradient Vector Flow: A New External Force for Snakes", *IEEE Proc. On Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'97)*, 1:66-71, 1997.

- [Xu 1998] Chenyang Xu, Jerry Prince; "Snakes, Shapes, and Gradient Vector Flow", IEEE Transactions on Image Processing, 1:359-369, 1998.
- [Xu 1999a] Chenyang Xu; "Deformable Models With Application To Human Cerebral Cortex Reconstruction Magnetic Resonance Images"; A dissertation submitted to the Johns Hopkins University in conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Baltimore, 1999.
- [Xu 1999b] IEEE Transactions on Medical Imaging, Reconstruction of the Human Cerebral Cortex from Magnetic Resonance Images Chenyang Xu, Dzung L. Pham, Maryam E. Rettmann, Daphne N. Yu, and Jerry L. Prince, vol. 18, no. 6, June 1999.
- [Xu 2000] C. Xu, D. L. Pham, and J. L. Prince, "Medical Image Segmentation Using Deformable Models," *Handbook of Medical Imaging -- Volume 2: Medical Image Processing and Analysis*, pp. 129-174, edited by J.M. Fitzpatrick and M. Sonka, SPIE Press, May 2000.

---

 POLINÓMIO DE *BERNSTEIN*


---

O anexo em apresentação visa a exposição detalhada dos conceitos associados ao polinómio de *Bernstein*. Pretende-se através da mesma, descrever o processo de concepção do respectivo polinómio, segundo um determinado grau  $n$ , com particular destaque para o polinómio de grau 3 (três), bem como enunciar as respectivas propriedades.

Pretendendo uma introdução sucinta, importa referir que os polinómios em geral apresentam-se como uma ferramenta matemática de grande utilidade, devido em grande parte às suas características, nomeadamente a simplicidade da sua descrição matemática, a menor exigência computacional requerida para a sua implementação, assim como o alargado espectro de funções matemáticas passíveis de representação.

A sua representação matemática encontra-se definida através de a.1.

$$p(t) = c_n t^n + c_{n-1} t^{n-1} + \dots + c_1 t + c_0 \quad (\text{a.1})$$

De acordo com a expressão supra definida, um qualquer polinómio de grau  $n$ , pode ser descrito como a combinação linear de polinómios básicos,  $t^n, t^{n-1}, \dots, t, 1$ .

Um polinómio de *Bernstein* de grau  $n$  encontra a sua expressão matemática definida através de a.2.

$$B_{i,n}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \quad (\text{a.2})$$

Onde  $i = 0, 1, \dots, n$ . Sendo  $\binom{n}{i}$  definido por a.3.

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i! (n-i)!} \quad (\text{a.3})$$

Assim, um polinómio de *Bernstein* de terceiro grau é definido pelos polinómios básicos descritos por a.4.

$$\begin{aligned}
 B_{0,3}(t) &= (1 - t)^3 \\
 B_{1,3}(t) &= 3t(1 - t)^2 \\
 B_{2,3}(t) &= 3t^2(1 - t) \\
 B_{3,3}(t) &= t^3
 \end{aligned}
 \tag{a.4}$$

De notar que os polinómios básicos indicados, encontram-se expressos no capítulo dois da presente dissertação, através da expressão 2.19. Em seguida, descrevem-se as principais propriedades matemáticas do polinómio de *Bernstein*, sendo as mesmas responsáveis pela notoriedade atribuída ao mesmo.

#### DEFINIÇÃO POR RECURSIVIDADE

O polinómio de grau  $n$  pode ser definido com base na soma de dois polinómios de grau anterior, ou seja,  $n-1$ . A expressão a.5 representa a definição descrita.

$$B_{i,n}(t) = (1 - t)B_{i,n-1}(t) + tB_{i-1,n-1}(t)
 \tag{a.5}$$

A demonstração da propriedade em análise será concebida com base no desenvolvimento de cada um dos dois polinómios constituintes. Onde, o resultado final do respectivo desenvolvimento matemático de cada um dos mesmos será idêntico à definição do polinómio de grau  $n$  apresentado por a.2.

$$B_{i,n}(t) = (1 - t) \binom{n-1}{i} t^i (1 - t)^{n-1-i} + t \binom{n-1}{i-1} t^{i-1} (1 - t)^{n-1-(i-1)} \Leftrightarrow$$

$$(1 - t)B_{i,n-1}(t) + tB_{i-1,n-1}(t) = \binom{n-1}{i} t^i (1 - t)^{n-i} + \binom{n-1}{i-1} t^i (1 - t)^{n-i} \Leftrightarrow$$

$$(1-t)B_{i,n-1}(t) + tB_{i-1,n-1}(t) = \left[ \binom{n-1}{i} + \binom{n-1}{i-1} \right] t^i (1-t)^{n-i} \Leftrightarrow$$

$$(1-t)B_{i,n-1}(t) + tB_{i-1,n-1}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \Leftrightarrow$$

$$(1-t)B_{i,n-1}(t) + tB_{i-1,n-1}(t) = B_{i,n}(t)$$

### CORRESPONDÊNCIA UNITÁRIA

A propriedade em actual descrição garante que os  $k+1$  polinómios de *Bernstein* de grau  $k$ , correspondem, quando somados, ao valor unitário.

O desenvolvimento apresentado em seguida pretende a demonstração matemática da propriedade em análise.

$$\sum_{i=0}^k B_{i,k}(t) = \sum_{i=0}^k [(1-t)B_{i,k-1}(t) + tB_{i-1,k-1}(t)] \Leftrightarrow$$

$$\sum_{i=0}^k B_{i,k}(t) = (1-t) \left[ \sum_{i=0}^{k-1} B_{i,k-1}(t) + B_{k,k-1}(t) \right] + t \left[ \sum_{i=1}^k B_{i-1,k-1}(t) + B_{-1,k-1}(t) \right] \Leftrightarrow$$

$$\sum_{i=0}^k B_{i,k}(t) = (1-t) \sum_{i=0}^{k-1} B_{i,k-1}(t) + t \sum_{i=1}^k B_{i-1,k-1}(t) \Leftrightarrow$$

$$\sum_{i=0}^k B_{i,k}(t) = (1-t) \sum_{i=0}^{k-1} B_{i,k-1}(t) + t \sum_{i=0}^{k-1} B_{i,k-1}(t) \Leftrightarrow$$

$$\sum_{i=0}^k B_{i,k}(t) = \sum_{i=0}^{k-1} B_{i,k-1}(t)$$

Donde, a propriedade saliente verifica a sua condição através de a.6.

$$\sum_{i=0}^n B_{i,n}(t) = \sum_{i=0}^{n-1} B_{i,n-1}(t) = \sum_{i=0}^{n-2} B_{i,n-2}(t) = \dots = \sum_{i=0}^1 B_{i,1}(t) = (1-t) + t = 1$$

Verifica que para um conjunto de pontos  $P_0, P_1, \dots, P_n$ , a expressão a.7 define uma combinação entre os referidos pontos. Pretende-se deste modo, atestar a validade da concepção das curvas de *Bézier* introduzidas no capítulo 2 (dois) da presente dissertação. De referir que a consideração é respectiva ao polinómio de grau 3 (três).

$$P(t) = P_0 B_{0,n} + P_1 B_{1,n}(t) + \dots + P_n B_{n,n}(t) \quad (\text{a.7})$$

### REPRESENTAÇÃO MATRICIAL

A possibilidade de representação matricial representa uma característica de elevada utilidade em diversas aplicações.

Seja  $P(t)$  um determinado polinómio descrito como a combinação linear de polinómios básicos de *Bernstein*, apresentado através de a.8.

$$P(t) = c_0 B_{0,n} + c_1 B_{1,n}(t) + \dots + c_n B_{n,n}(t) \quad (\text{a.8})$$

A expressão anterior pode ser representada de modo matricial como assim o demonstra a.9.

$$B(t) = [B_{0,n}(t) \quad B_{1,n}(t) \quad \dots \quad B_{n,n}(t)] \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} \quad (\text{a.9})$$

A expressão a.9 assume de igual modo uma representação dada por a.10.

$$B(t) = [1 \quad t \quad t^2 \quad \dots \quad t^n] \begin{bmatrix} b_{0,0} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_{1,0} & b_{1,1} & 0 & \dots & 0 \\ b_{2,0} & b_{2,1} & b_{2,2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n,0} & b_{n,1} & b_{n,2} & \dots & b_{n,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} \quad (\text{a.10})$$

De notar que  $\mathbf{b}_{i,j}$  definem os coeficientes usados para determinar cada um dos respectivos polinómios de *Bernstein*.

Considerando  $n = 3$ , a representação correspondente encontra-se descrita em a.11.

$$B(t) = [1 \quad t \quad t^2 \quad t^3] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -1 & 3 & -3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \quad (\text{a.11})$$

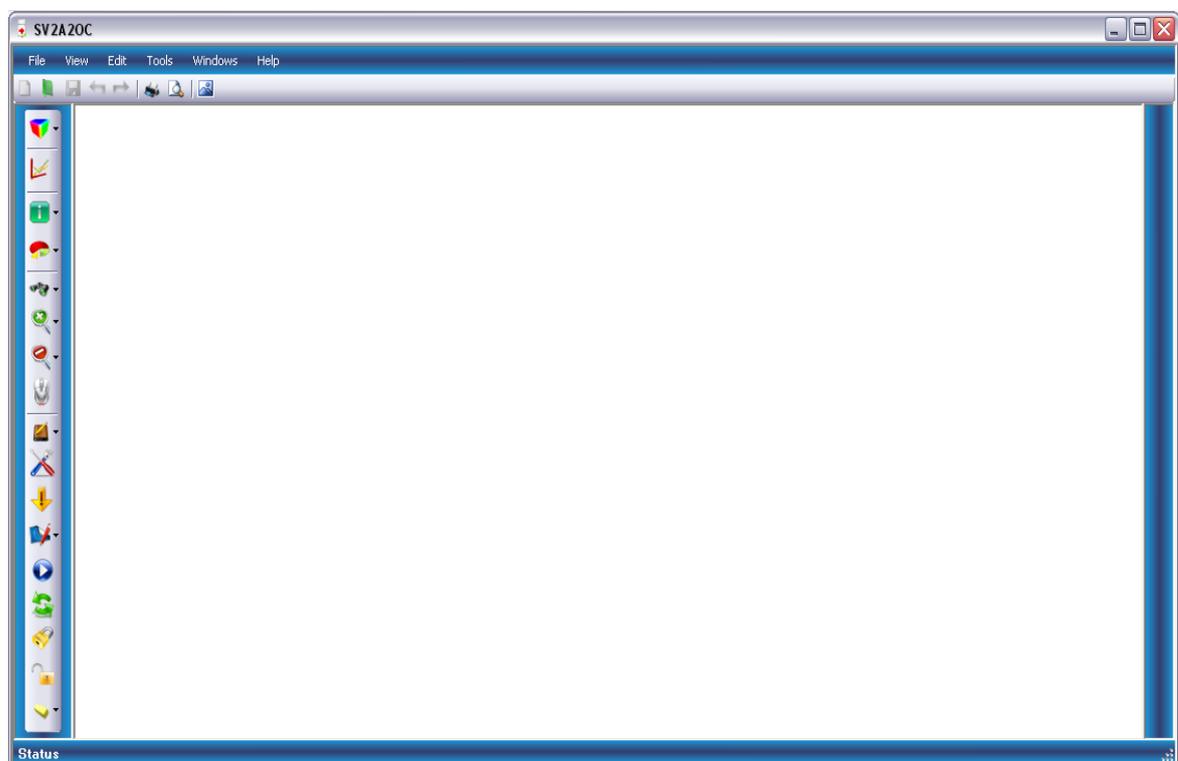


## MANUAL DA APLICAÇÃO

O presente capítulo pretende apresentar uma descrição abrangente relativa às funcionalidades da aplicação gráfica desenvolvida, GUI. Deste modo, seguir-se-á uma análise a cada uma, bem como, a respectiva identificação dos elementos gráficos constituintes da *interface*.

A *interface* gráfica concebida como suporte à aplicação do conceito descrito na presente tese é composta por um alargado conjunto de opções, as quais permitem a aplicação de diversas ferramentas de processamento de imagem, assim como a aplicação das restantes funcionalidades descritas no capítulo 3 (três) apresentado na dissertação em análise.

A figura B.1 ilustra a *interface* desenvolvida com o respectivo propósito.



**Figura B.1 – Interface Gráfica.**

A análise à figura supra exposta permite visualizar a presença de uma barra lateral, segundo a qual se encontram disponíveis, através de botões, as funcionalidades concebidas. De notar de igual modo, para a disposição de um conjunto de *menus* na parte superior da interface, os quais permitem o acesso a ferramentas de processamento de imagem.

#### ABRIR IMAGEM



A selecção de um ficheiro de imagem é obtida através do *menu* denominado por *File*. A opção a seleccionar encontra-se intitulada por *Open*. De notar que a aplicação suporta os ficheiros de imagem *bmp*, *jpg*, *jpeg* e *png*.

Pretende-se através da exposição da figura B.2 demonstrar o posicionamento da opção anteriormente referida.

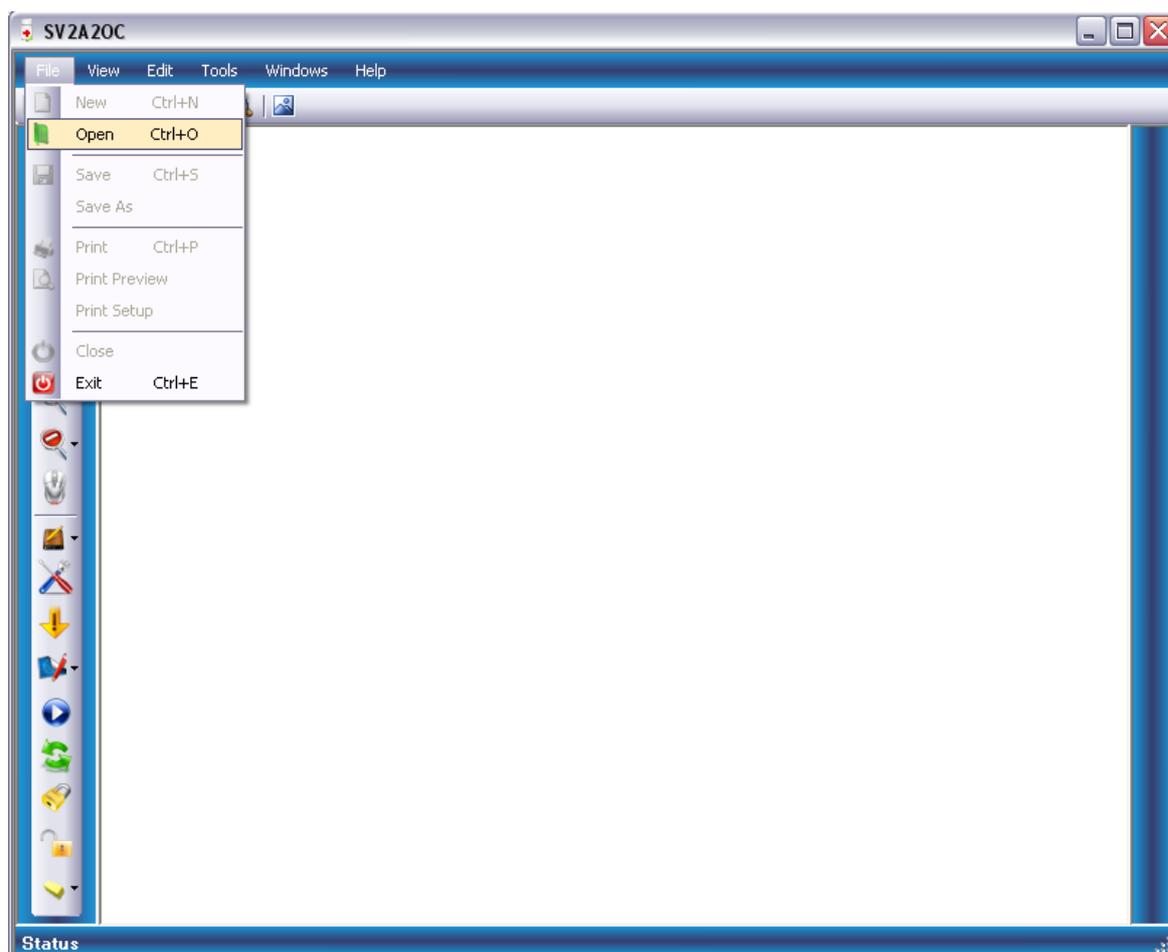
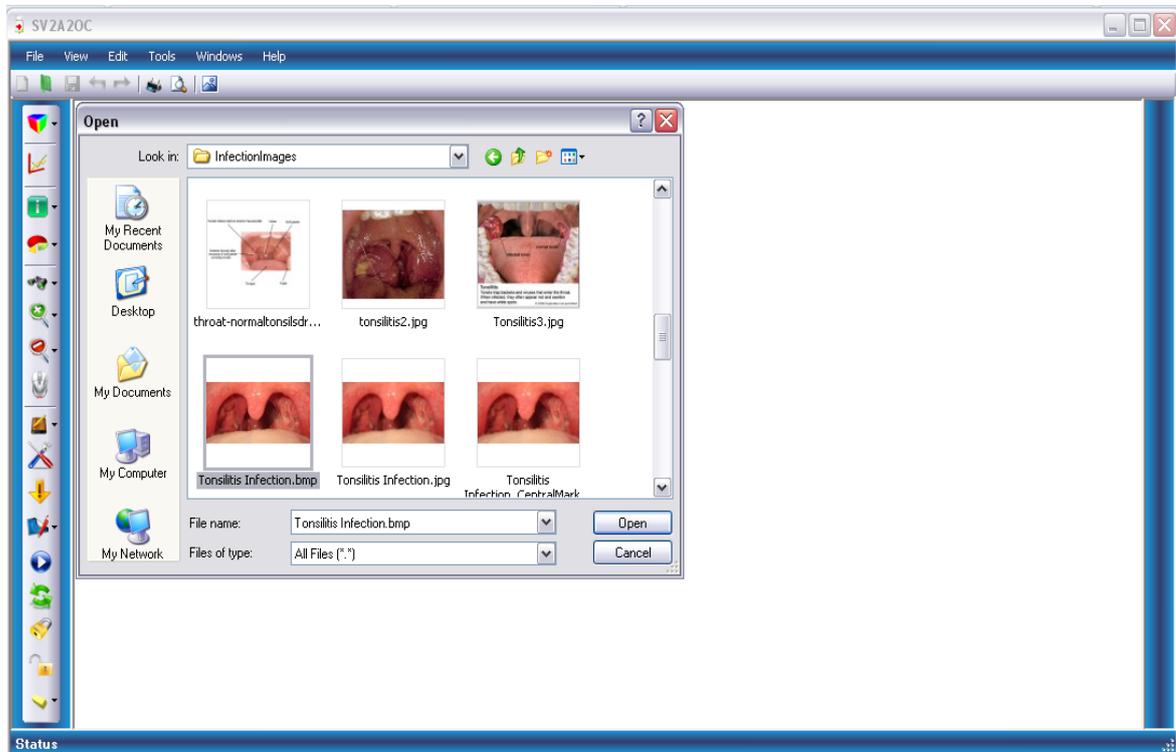


Figura B.2 – Demonstração da opção *Open*.

O procedimento seguinte refere a selecção do respectivo ficheiro de imagem. Este não carece de qualquer explanação tendo em conta que apenas requer a respectiva escolha da imagem pretendida por parte do utilizador.



**Figura B.3 – Selecção de um ficheiro de imagem.**

A figura apresentada em seguida ilustra a interface com um dado ficheiro de imagem disponível para processamento.

Trata-se de uma imagem de formato *bmp* com configuração cromática RGB a 8 (oito) *bit*. Contudo, qualquer outro dos dois formatos anteriormente referenciados poderia ser alvo de processamento. Assim, de referir que apenas corresponde a uma descrição meramente exemplificativa.

De notar, que a aplicação desenvolvida e descrita no presente anexo suporta a leitura de diversas imagens uma vez que se encontra concebida com base no conceito MDI, assim, o sistema permite a visualização de diversos ficheiros de imagem, sendo considerado aquele que se encontrar seleccionado.

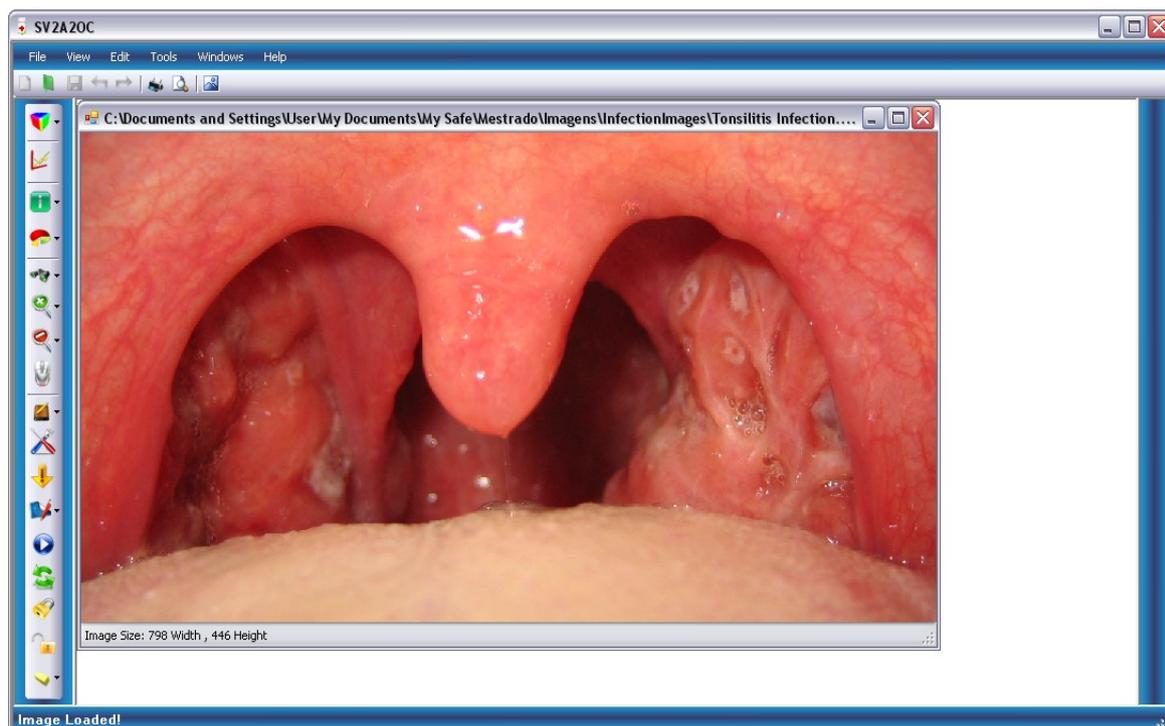


Figura B.4 – Ficheiro de imagem obtido.

B.5 ilustra um conjunto de ficheiros de imagem seleccionados.

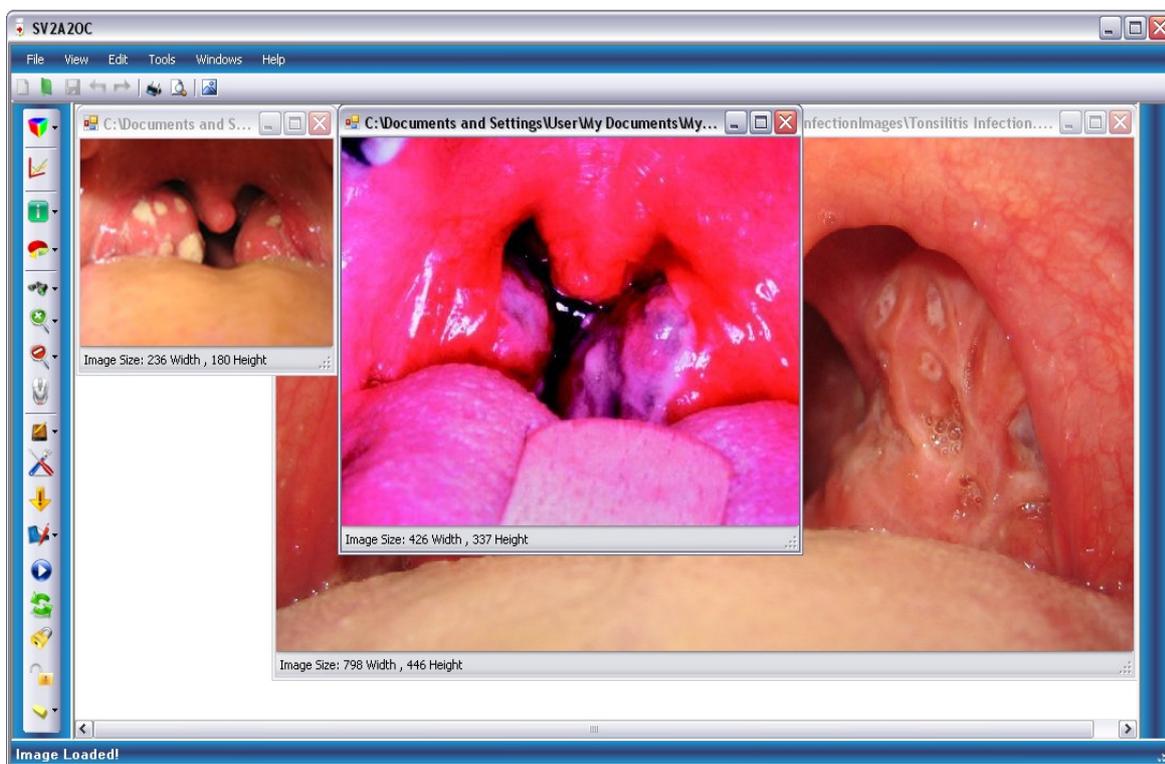


Figura B.5 – Apresentação de múltiplas imagens.

## ANÁLISE CROMÁTICA

O primeiro botão disposto na barra lateral permite obter os valores de intensidade de cada uma das três componentes que constituem o *pixel* em selecção. Fornece de igual modo, a localização do mesmo. De notar que se trata de uma imagem com cada uma das componentes a 8 (oito) *bit*, donde, os valores encontram-se no intervalo definido por 0 (zero) e duzentos e cinquenta e cinco (255).

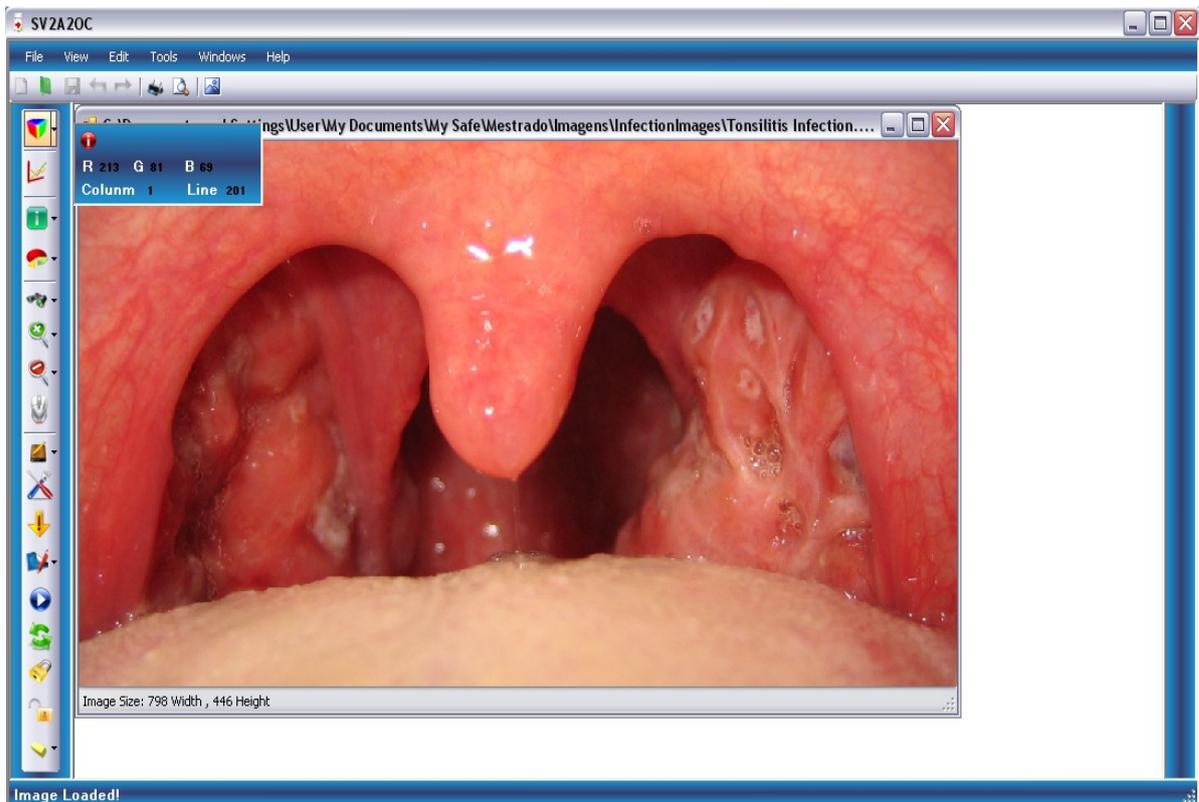


Figura B.6 – Apresentação da opção de descrição cromática e posicional.

## HISTOGRAMA DE INTENSIDADE

A selecção do botão seguinte resulta na concepção do histograma de intensidades referente à imagem em consideração. Deste modo, é utilizada uma folha de cálculo para o efeito. Assim, o utilizador poderá analisar de forma clara e inequívoca o padrão cromático da imagem em respectiva observação por parte deste.

Na figura B.7 poder-se-á visualizar o histograma de intensidade referente à imagem apresentada na figura anterior, B.6. De notar que o mesmo se apresenta inserido numa

folha de cálculo, onde se observa nas duas primeiras linhas os dados usados para a concepção do referido histograma de intensidade. A selecção do respectivo botão implica o lançamento do evento responsável pela criação do histograma e respectiva abertura da folha de cálculo.

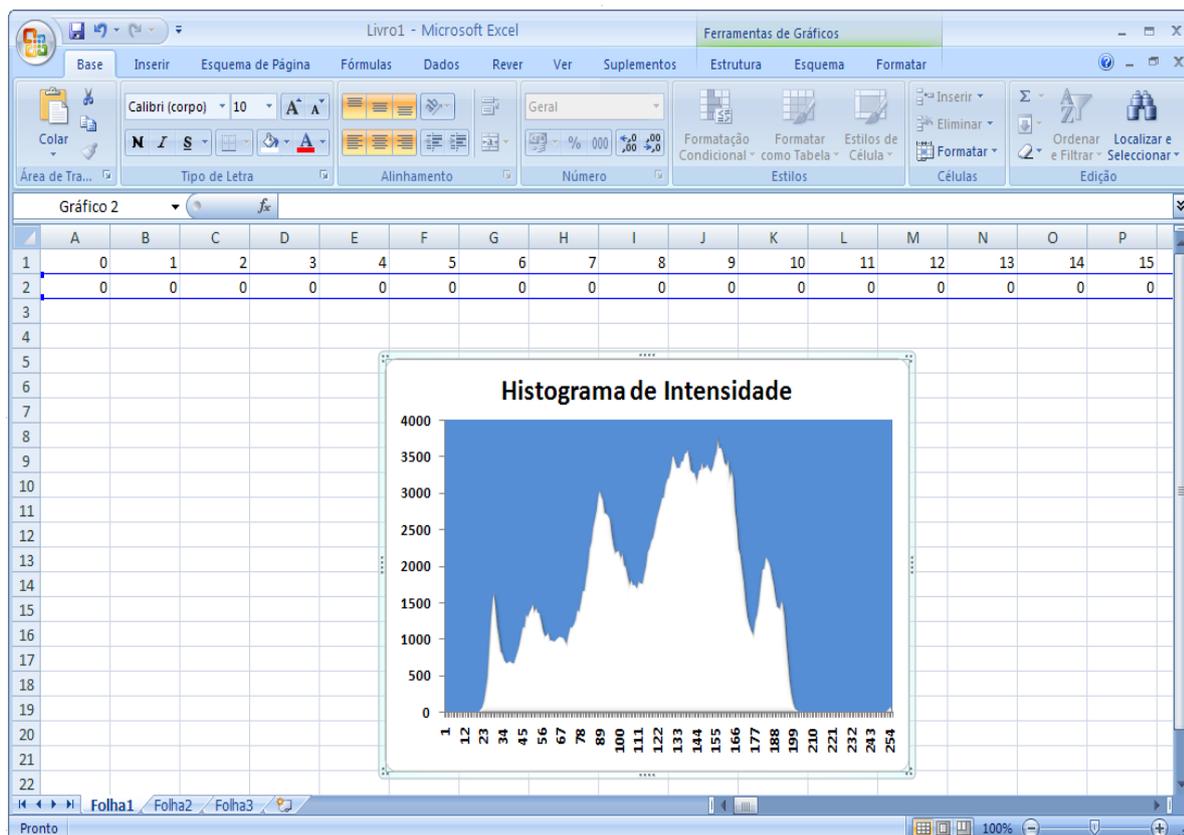


Figura B.7 – Exemplificação do histograma de intensidade.

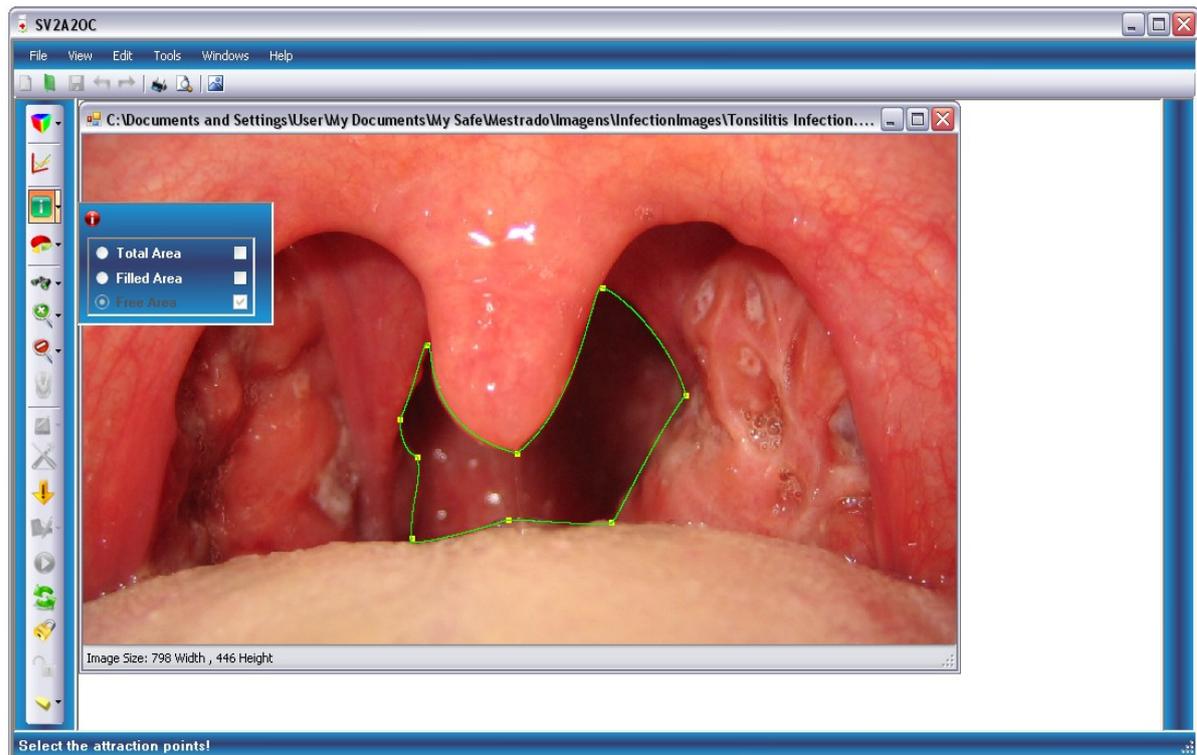
## IDENTIFICAÇÃO DE REGIÃO



O terceiro botão apresentado assume a funcionalidade de permitir a selecção da região alvo de segmentação por parte do contorno activo.

O utilizador dispõe da possibilidade de identificação de três das regiões pré-definidas, sendo as mesmas denominadas por *Total Area*, *Filled Area* e *Free Area*, correspondendo à área total, área ocupada e área livre, respectivamente. A aplicação garante os mecanismos necessários para que não seja possível ao utilizador seleccionar uma região já processada.

A figura B.8 ilustra a selecção da funcionalidade em destaque.



**Figura B.8 – Exemplificação da identificação de região.**

## CÁLCULO DA ÁREA

A quarta opção presente na barra de opções visa a determinação do tamanho da região segmentada e consequentemente seleccionada pelo utilizador. De referir que se trata de uma medição efectuada com base no número de *pixels* constituintes da mesma.

Esta funcionalidade permite não somente o cálculo do tamanho de uma determinada região, o seu principal objectivo é o de calcular a relação entre duas regiões segmentadas.

Na figura B.9 será possível visualizar uma dada região segmentada, neste caso a região livre e a sua respectiva dimensão mensurada com base no número de *pixels* que a definem.

A figura B.10 ilustra um exemplo representativo da determinação da relação dimensional entre as duas regiões por si apresentadas.

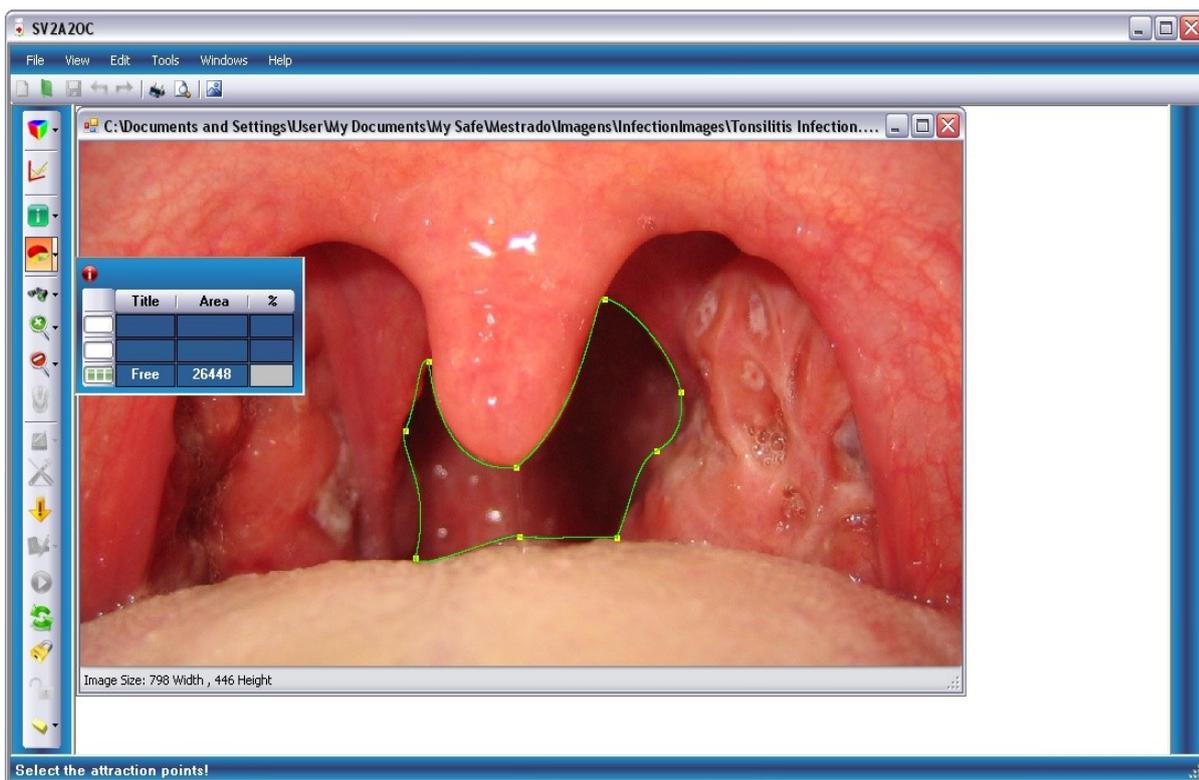


Figura B.9 – Apresentação do tamanho da região segmentada.

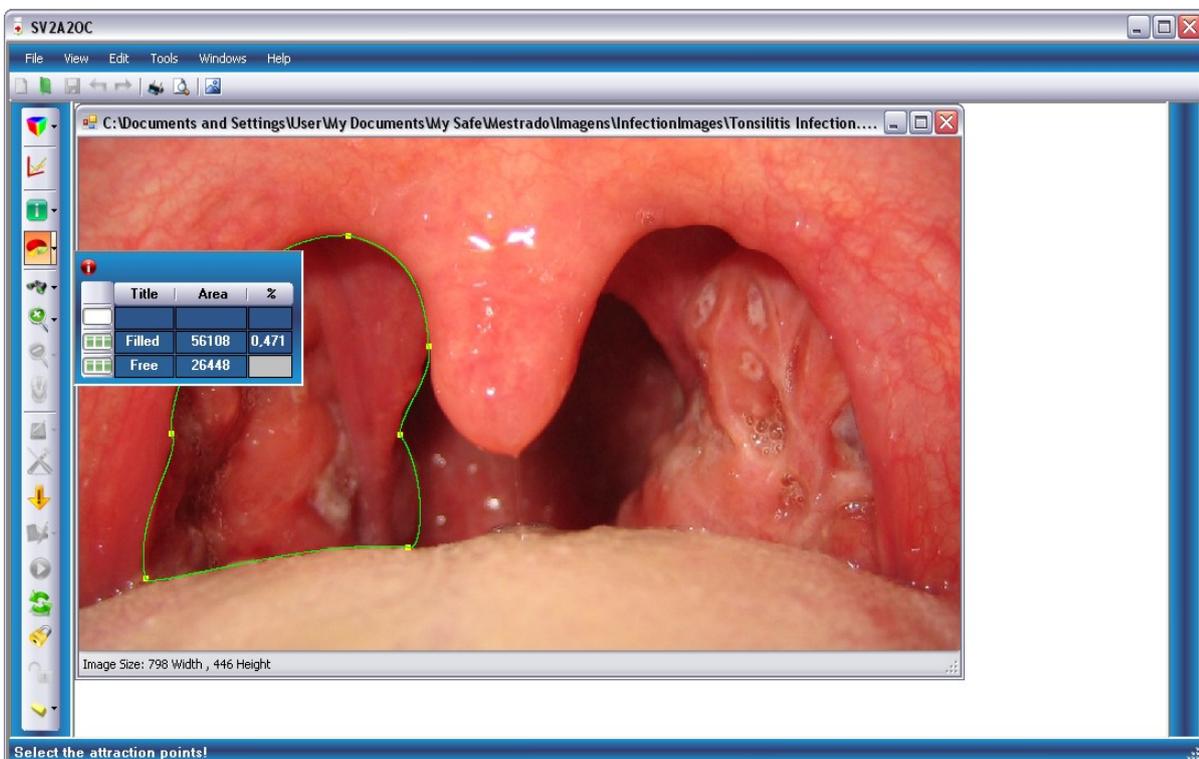
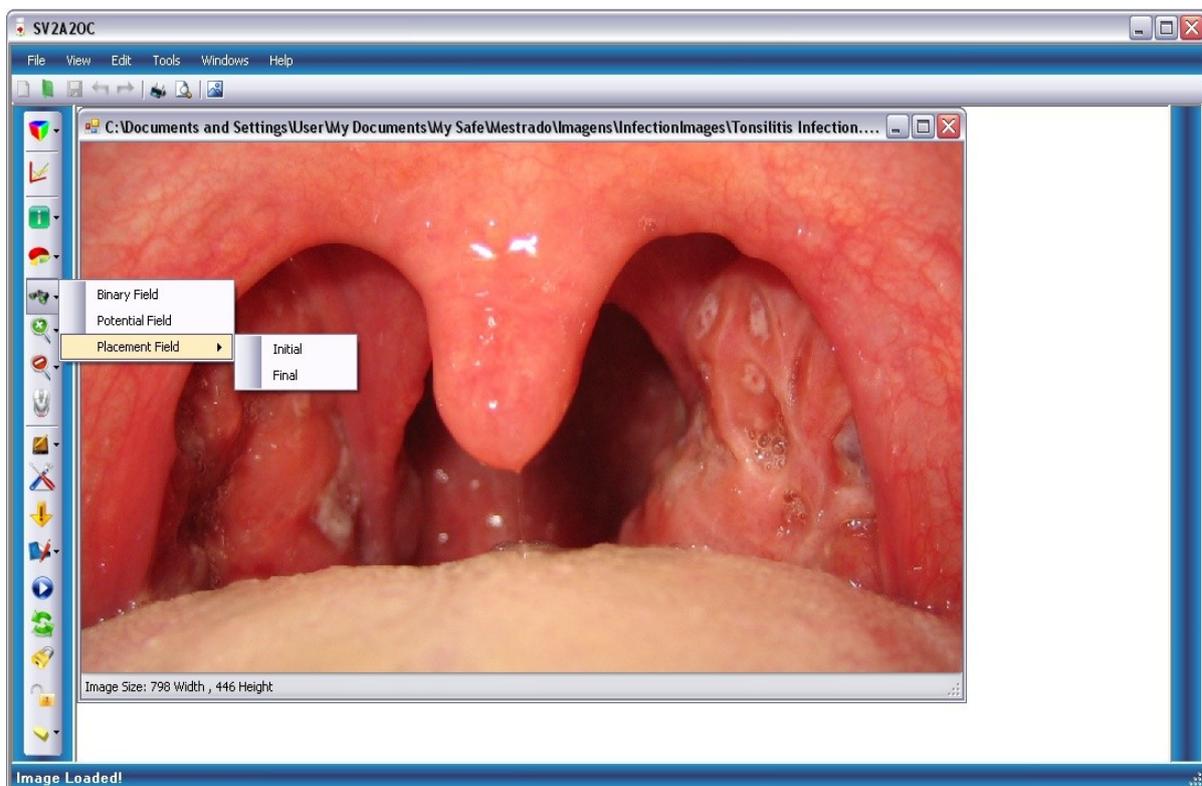


Figura B.10 – Apresentação da relação dimensional.

## VISUALIZAÇÃO DE *BITMAP*

A presente funcionalidade permite a visualização de quatro imagens de relevância indubitável para a correcta interpretação do processo dinâmico aplicado ao contorno activo. Tal como anunciado, esta faculta a análise a quatro mapas de intensidade referentes a determinados processos estabelecidos no decorrer do processo de segmentação. Trata-se portanto do mapa binário da imagem, o qual servirá de suporte à criação do mapa da energia potencial, do mapa potencial da imagem e do posicionamento inicial e final do modelo.

A figura B.11 apresenta o conjunto de opções passíveis de selecção.



**Figura B.11 – Opções de visualização de *bitmap*.**

As quatro figuras que seguidamente se encontram representadas ilustram cada um dos *bitmaps* respectivos, o mapa binário, o mapa da energia potencial e as restantes referentes ao posicionamento inicial e final de um dado contorno activo, sendo que para a demonstração em destaque considera-se como objectivo a segmentação da área livre da orofaringe visível através da figura supra representada.

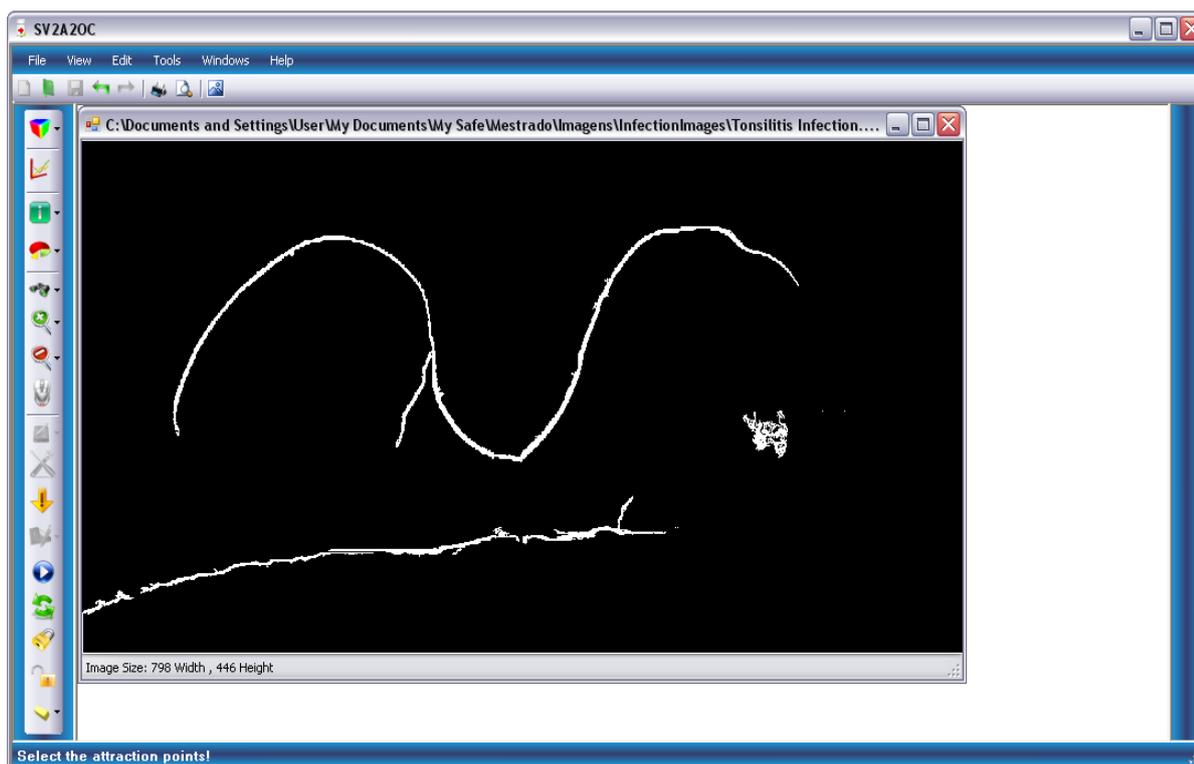


Figura B.12 – Demonstração da visualização do mapa binário.

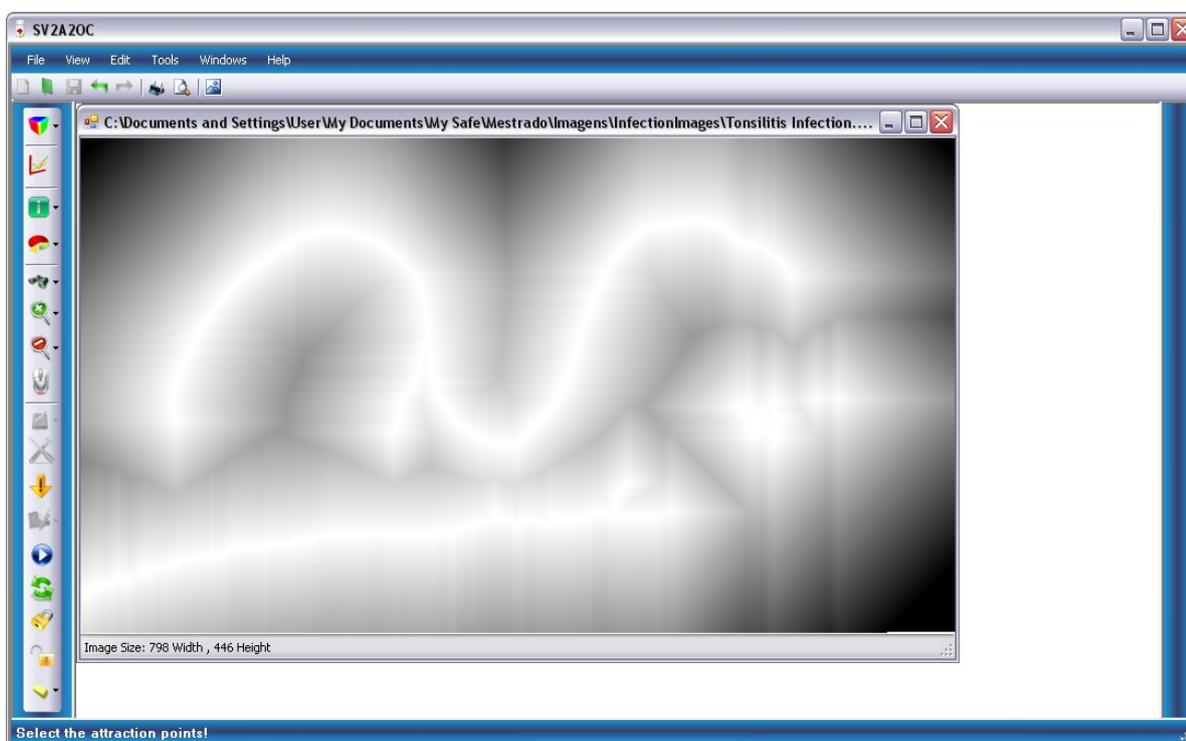
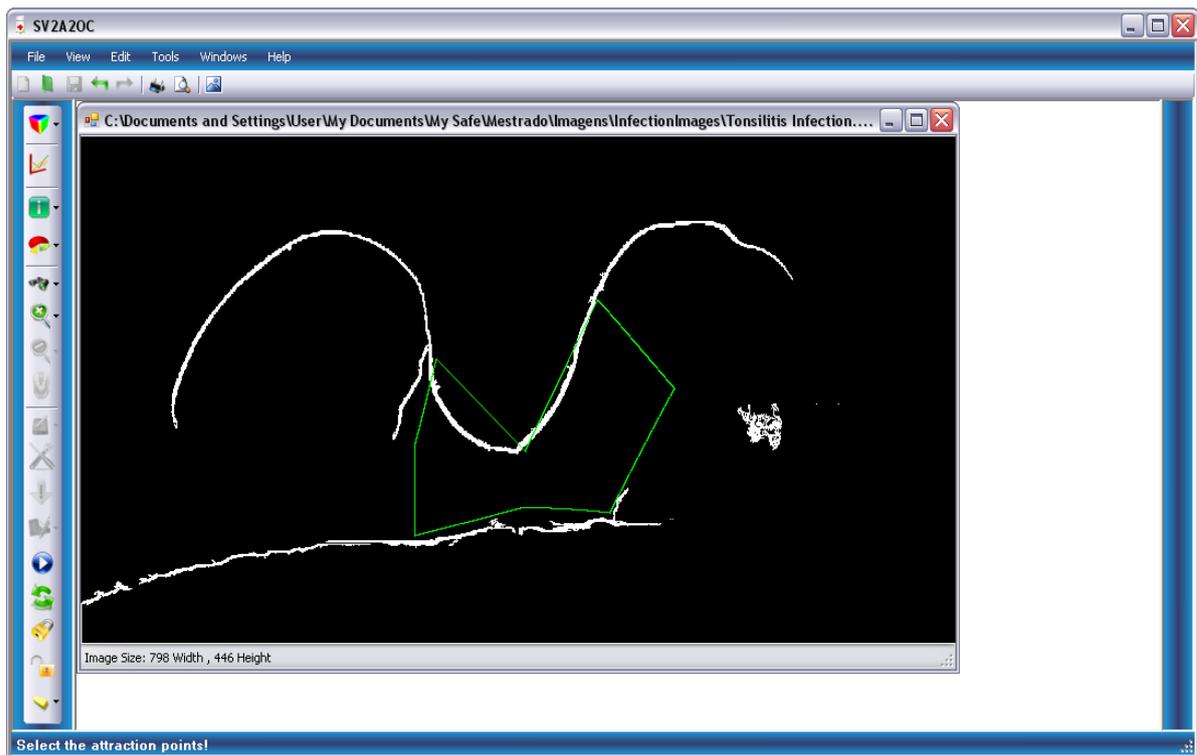


Figura B.13 – Demonstração da visualização do mapa potencial.



**Figura B.14 – Demonstração do posicionamento inicial do modelo.**

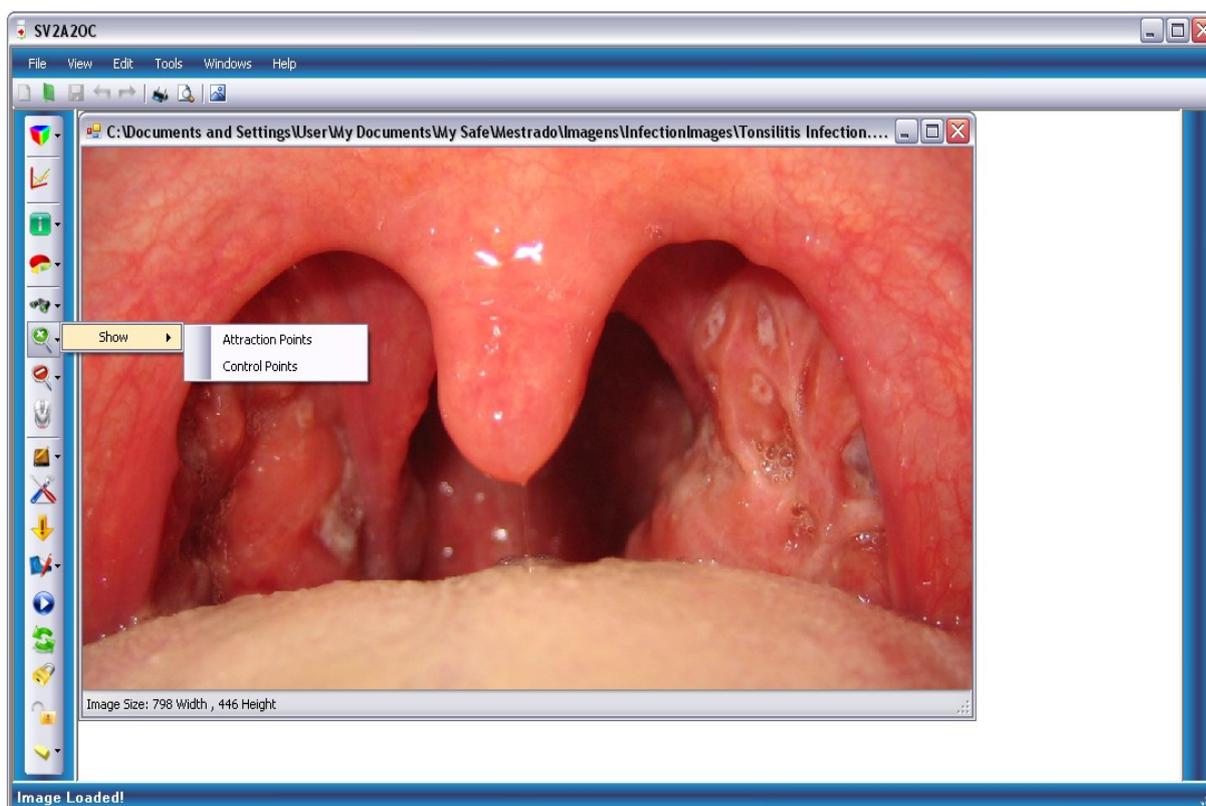


**Figura B.15 – Demonstração do posicionamento final do modelo.**

## APRESENTAÇÃO DE DETALHES

Apresentação de detalhes representa uma das funcionalidades concebidas para visualização de pormenores. Assim, a respectiva selecção da funcionalidade em análise possibilita a identificação de dois parâmetros de controlo, entenda-se os *attraction points* que se definem como os pontos responsáveis por atrair o modelo para a região referente ao seu posicionamento, assim como os *control point* que permitem ao utilizador um reajustamento relativamente à configuração do posicionamento final do modelo.

A figura B.16 pretende ilustrar a lista de opções criadas, sendo que as duas seguintes verificam o resultado da selecção das mesmas.



**Figura B.16 – Apresentação das opções de visualização de detalhes.**

Tal como anteriormente referido, as figuras seguintes, B.17, B.18, visam a demonstração do resultado obtido após a selecção de cada uma das opções disponíveis por parte da funcionalidade em presente destaque, apresentação dos pontos de atracção e controlo, respectivamente.

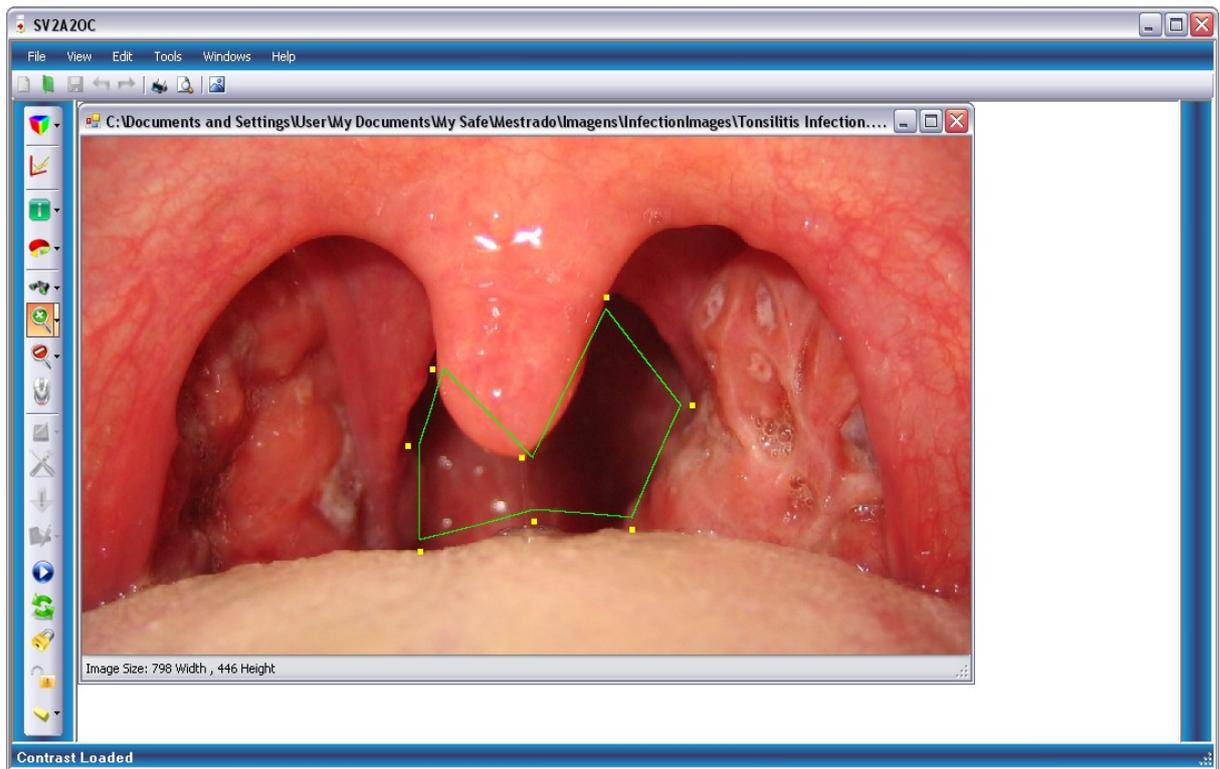


Figura B.17 – Visualização dos *attraction points*.

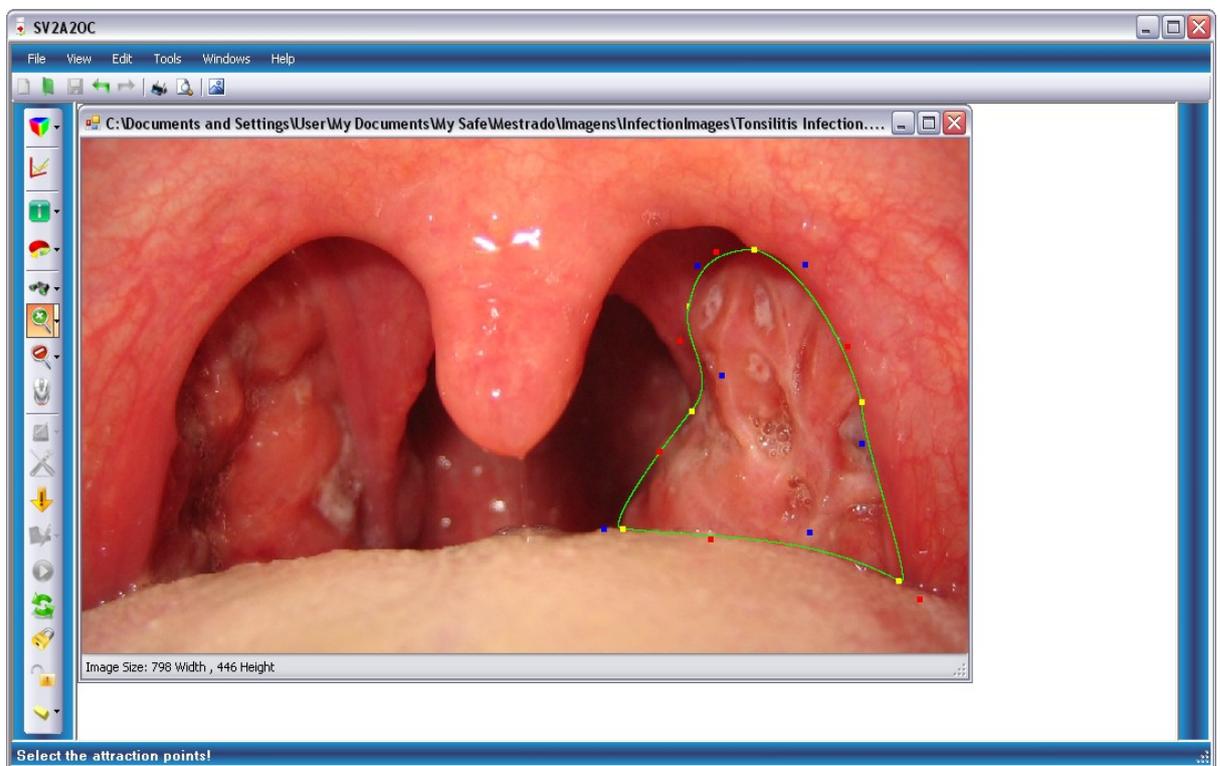


Figura B.18 – Visualização dos *control points*.

### **OMISSÃO DE DETALHES**



A função mencionada visa o efeito oposto ao verificado pela funcionalidade anterior. Tal como se encontra patente na sua denominação, esta permite omitir os parâmetros de controlo expostos pela apresentação de detalhes, quer relativamente aos pontos de atracção, quer no que diz respeito aos pontos de controlo. Desse modo, apresenta igualmente duas opções, neste caso a omissão de cada um dos parâmetros. De notar que uma dada opção de omissão só se encontrará disponível se se verificar a selecção correspondente por parte da visualização, ou seja, apenas se efectuará uma omissão para o caso em que se encontra uma apresentação de um determinado detalhe, entenda-se um ponto de atracção ou de controlo.

### **CONTROLO DE SELECÇÃO**

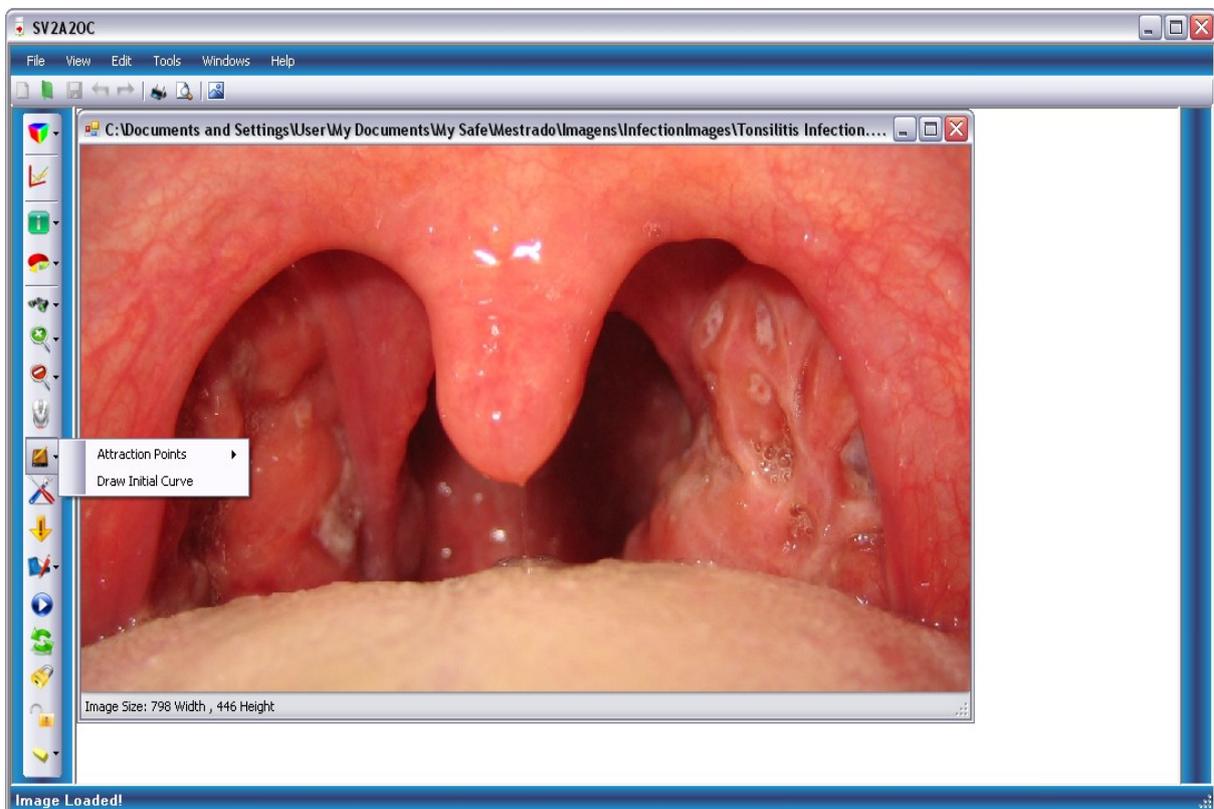


Esta funcionalidade encontra-se desenvolvida com o intuito de fornecer uma ferramenta de selecção ao utilizador. O controlo de selecção permite ao mesmo seleccionar qualquer parâmetro de controlo com o objectivo de proceder à movimentação do mesmo. A funcionalidade em apresentação assume uma utilidade relevante no decorrer do processo de reajustamento da configuração final do modelo, uma vez que possibilita a deslocação dos pontos de controlo, os quais por sua vez ajustam a configuração espacial do contorno activo. Em suma, sempre que se verificar a necessidade de deslocar um determinado parâmetro, o controlo de selecção representa a opção a seleccionar para o respectivo efeito.

**SELECCÃO DE MÉTODO** 

Seleção de método refere-se à funcionalidade criada e disposta através da aplicação que visa permitir ao utilizador a selecção do modo como pretende conceber o contorno activo. Este pode ser concebido através de dois métodos diferentes, através do posicionamento de um conjunto de pontos de atracção, *attraction points* ou através da denominada definição livre, na qual o modelo é concebido sob influência directa do utilizador, ou seja, com base na selecção deste último método o utilizador define a configuração inicial do contorno activo.

A figura B.19 ilustra o espaço opcional associado à funcionalidade em destaque.



**Figura B.19 – Apresentação das opções de selecção de método.**

As duas figuras seguidamente apresentadas pretendem ilustrar o resultado obtido em consequência da selecção de cada uma das opções disponíveis, método de colocação de pontos de controlo e desenho da configuração inicial do modelo.

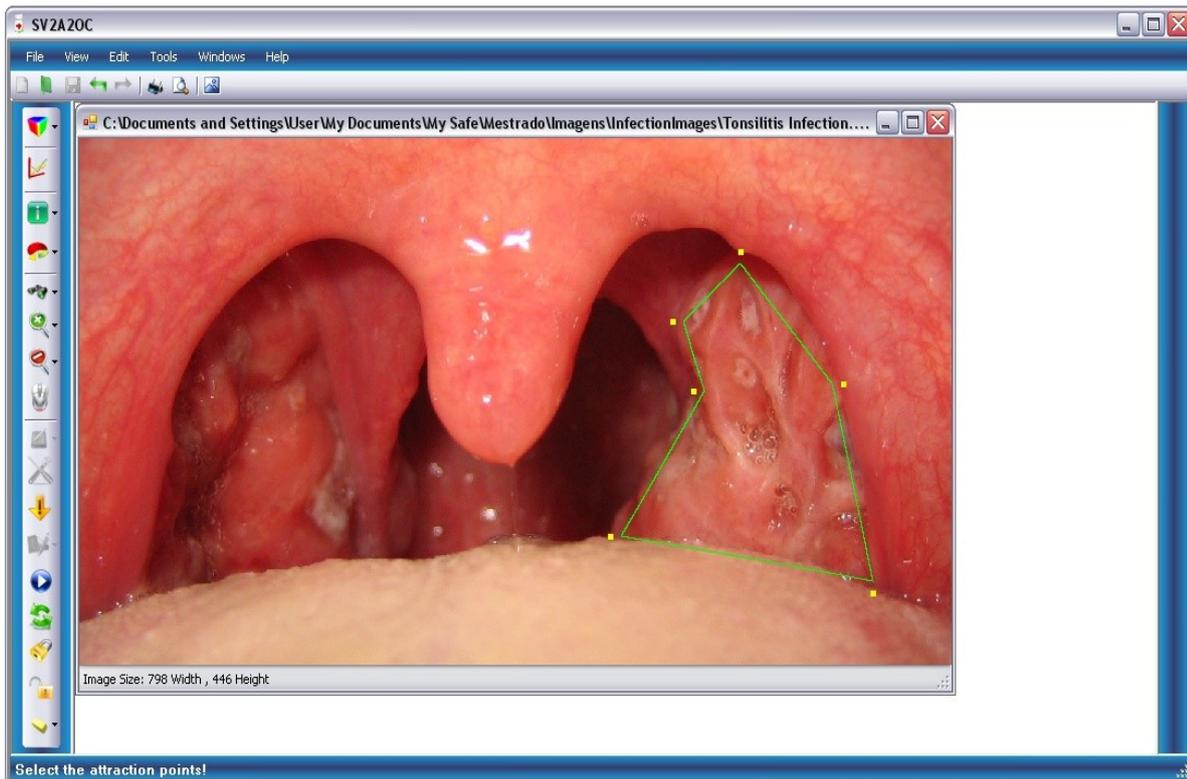


Figura B.20 – Aplicação do método dos pontos de atracção.

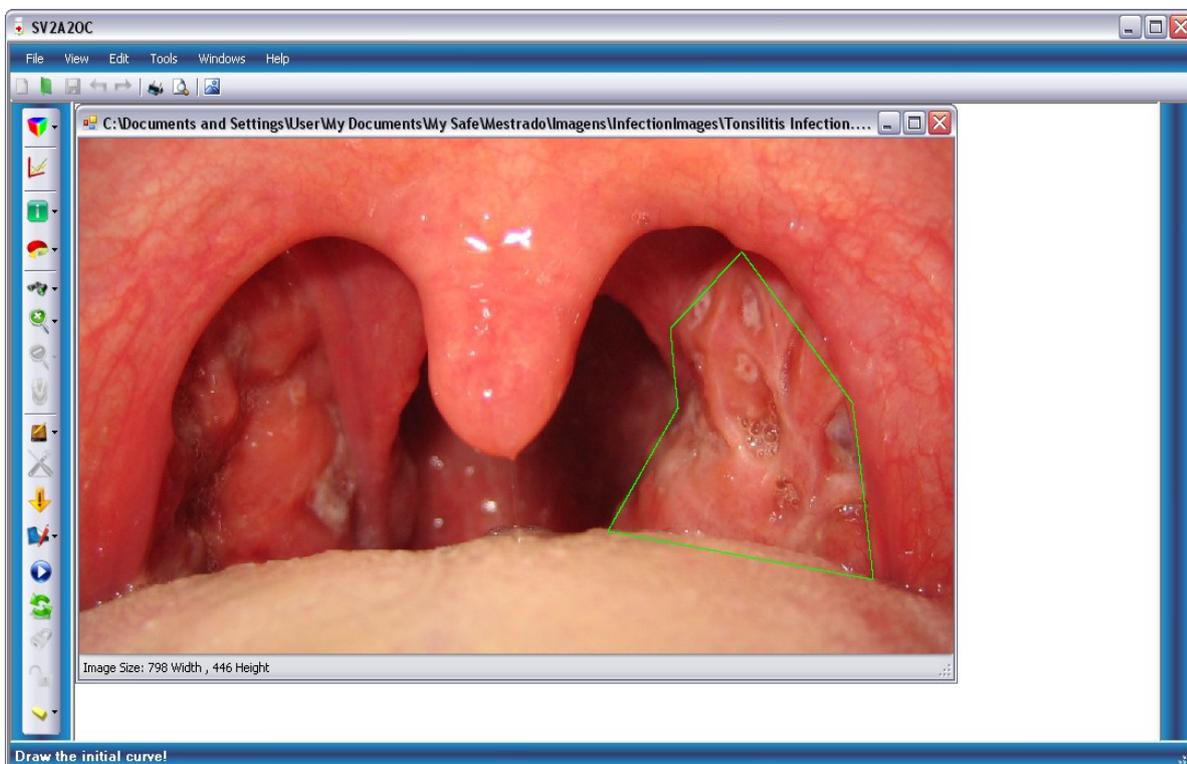


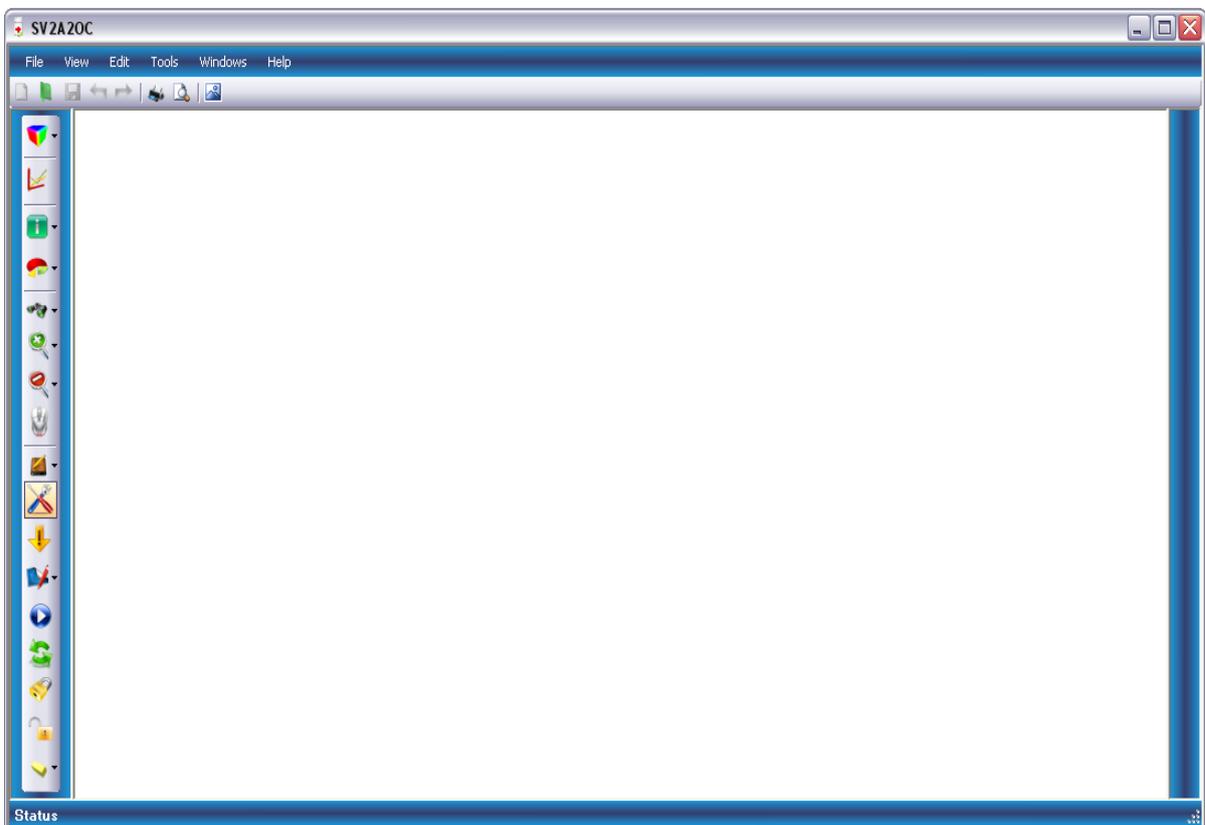
Figura B.21 – Aplicação do método de configuração directa.

**ADIÇÃO ARTIFICIAL DE CONTRASTE**

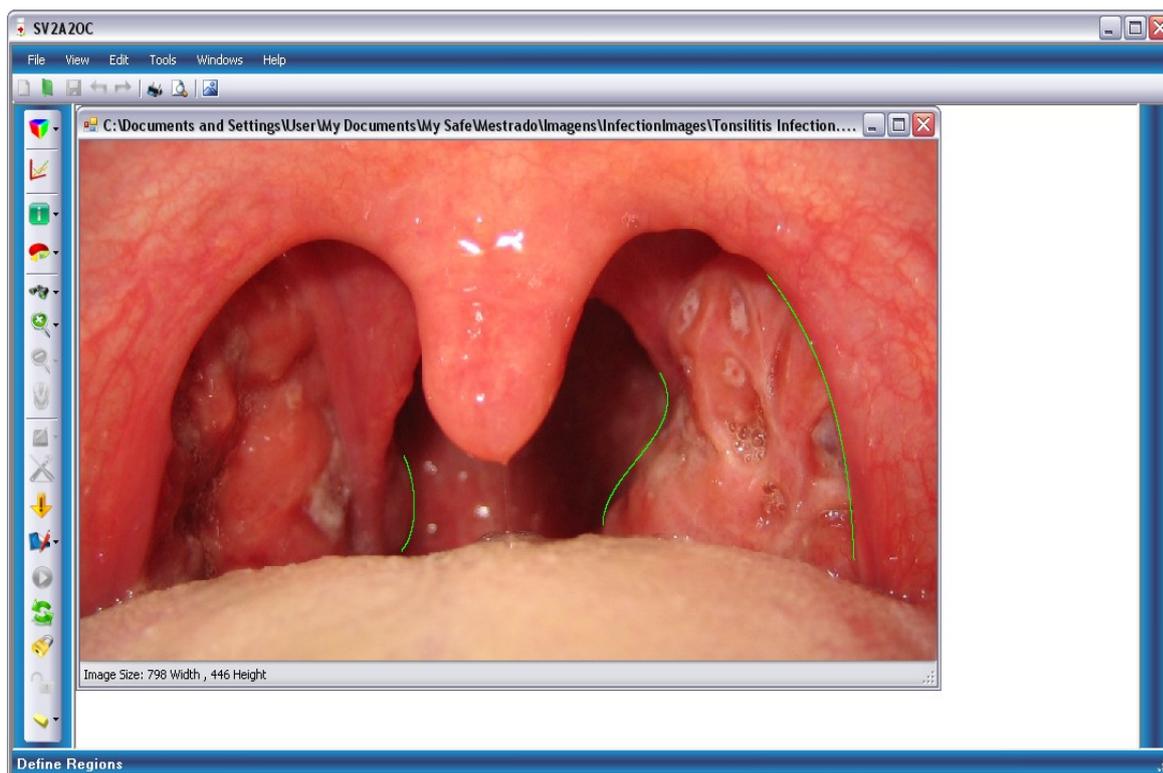
As imagens processadas pela aplicação desenvolvida caracterizam-se pelo fraco contraste existente, particularidade que exige à mesma o melhor desempenho. Desse modo, foi desenvolvida e implementada uma ferramenta de suporte no sentido de introduzir artificialmente linhas que possibilitam regiões de alto contraste.

O utilizador dispõe de um conjunto de curvas de *Bézier*, e assim inteiramente configuráveis concebidas para o respectivo efeito.

A figura B.22 permite a identificação do posicionamento da funcionalidade em presente destaque, sendo que a figura B.23 ilustra um exemplo da sua aplicabilidade.



**Figura B.22 – Identificação da funcionalidade de adição de contraste.**



**Figura B.23 – Demonstração da aplicação de linhas de contraste.**

### **GRAVAÇÃO DE ALTERAÇÕES** ↓

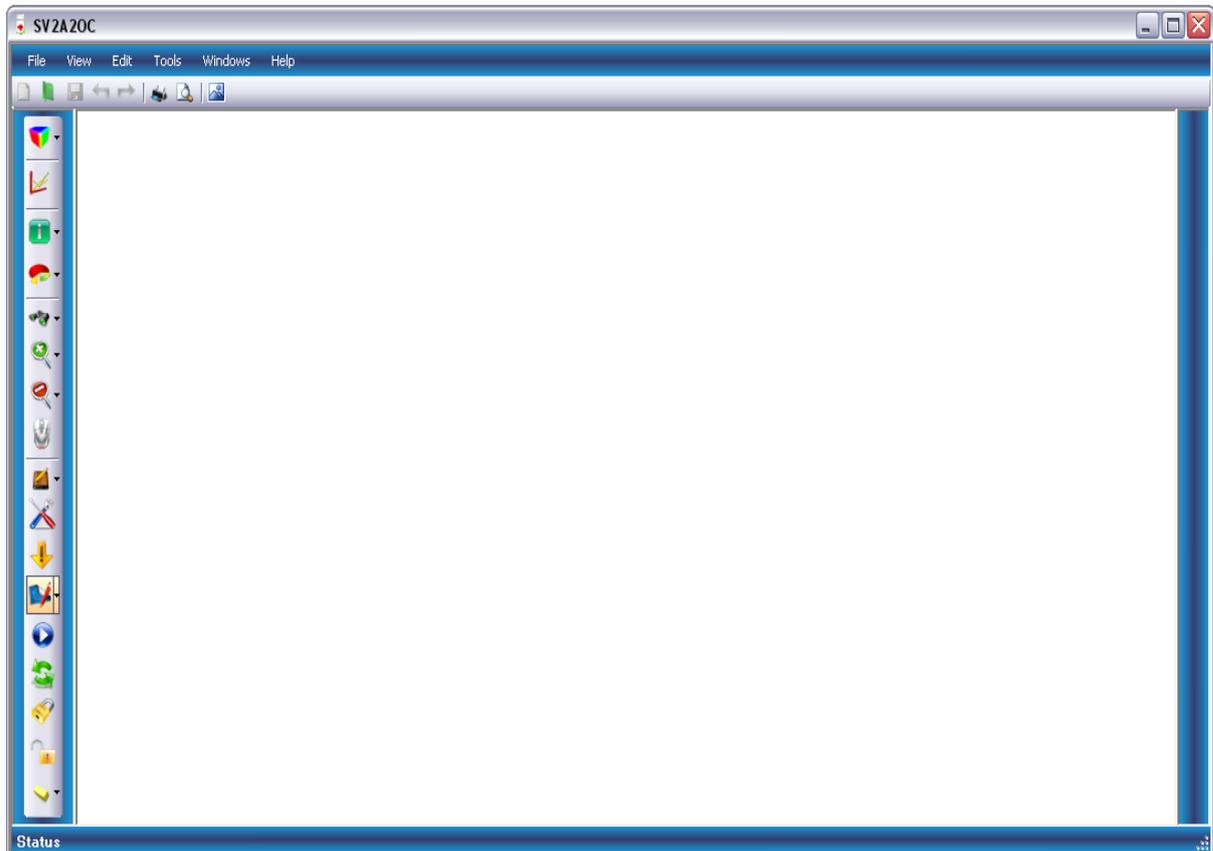
A funcionalidade em presente descrição assume o objectivo de proceder à validação das alterações efectuadas pela ferramenta descrita anteriormente. Permite assim, validar a aplicação das linhas de contraste. De referir, que esta opção encontra-se passível de selecção se se verificar a aplicação das linhas de contraste mencionadas na descrição anterior.

### **CONSTRUÇÃO DO MODELO**

Foi desenvolvido um botão, igualmente presente na interface apresentada, sendo que este visa a concepção do modelo inicial com base no posicionamento dos pontos de atracção previamente estabelecidos por parte do utilizador.

Deste modo, a criação do contorno activo só se verificará após a selecção e respectiva localização dos respectivos pontos de atracção. Contudo, o modelo pode ser desenhado inteiramente por parte do utilizador caso este seleccione a respectiva opção para o efeito.

A figura B.24 ilustra o posicionamento da funcionalidade em análise.



**Figura B.24 – Identificação da funcionalidade de concepção do modelo.**

A figura seguinte, B.25 pretende demonstrar o resultado da aplicação da funcionalidade em presente descrição.

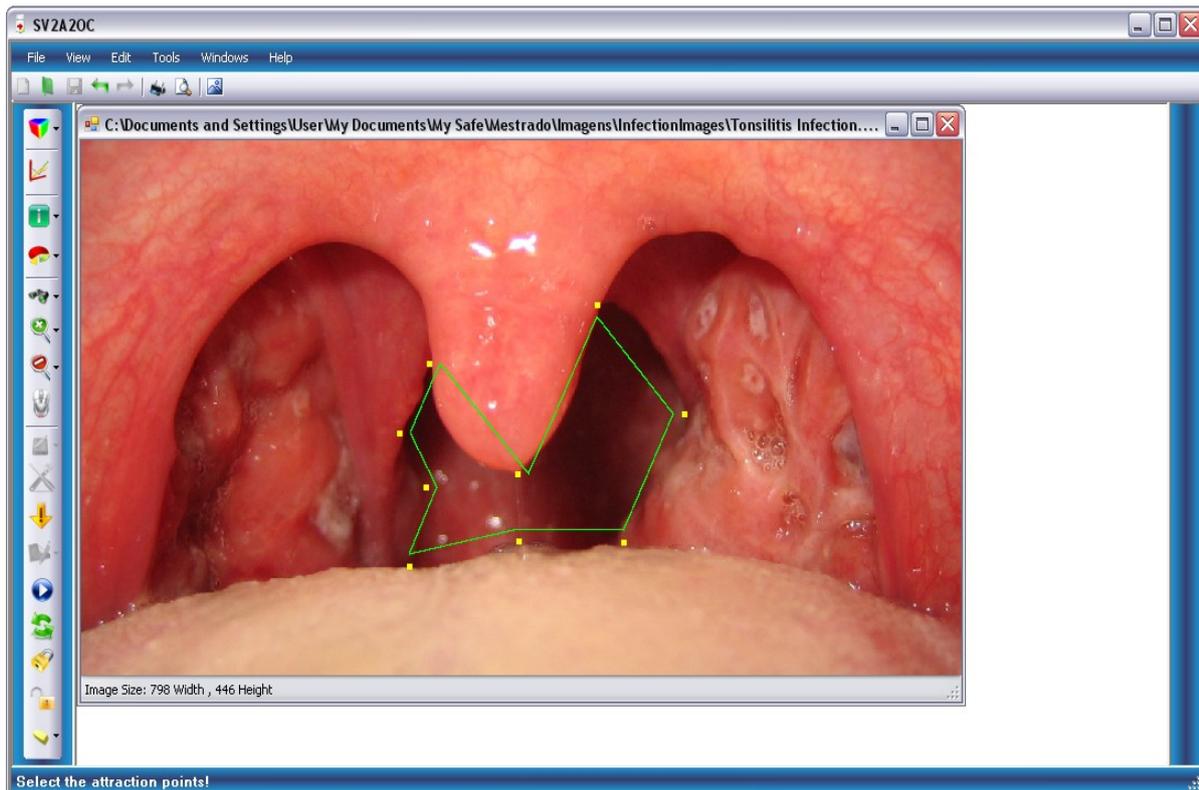


Figura B.25 – Exemplo da funcionalidade de concepção do modelo.

## INICIALIZAÇÃO DO PROCESSO DINÂMICO



Para proceder à inicialização do processo dinâmico, sendo este responsável pela movimentação do contorno activo desde a sua configuração inicial até ao seu posicionamento final, a interface desenvolvida dispõe de uma funcionalidade para o respectivo propósito. Trata-se de uma opção que permite ao utilizador não só dar início ao processo dinâmico, como também apresenta um painel informativo no qual este especifica o número de iterações pretendidas para a evolução do contorno activo, bem como o valor referente a um dos dois parâmetros responsáveis pela resposta do próprio modelo, entenda-se o coeficiente de elasticidade.

A figura B.26 expõe a selecção da funcionalidade em destaque, evidenciando o painel de opções.

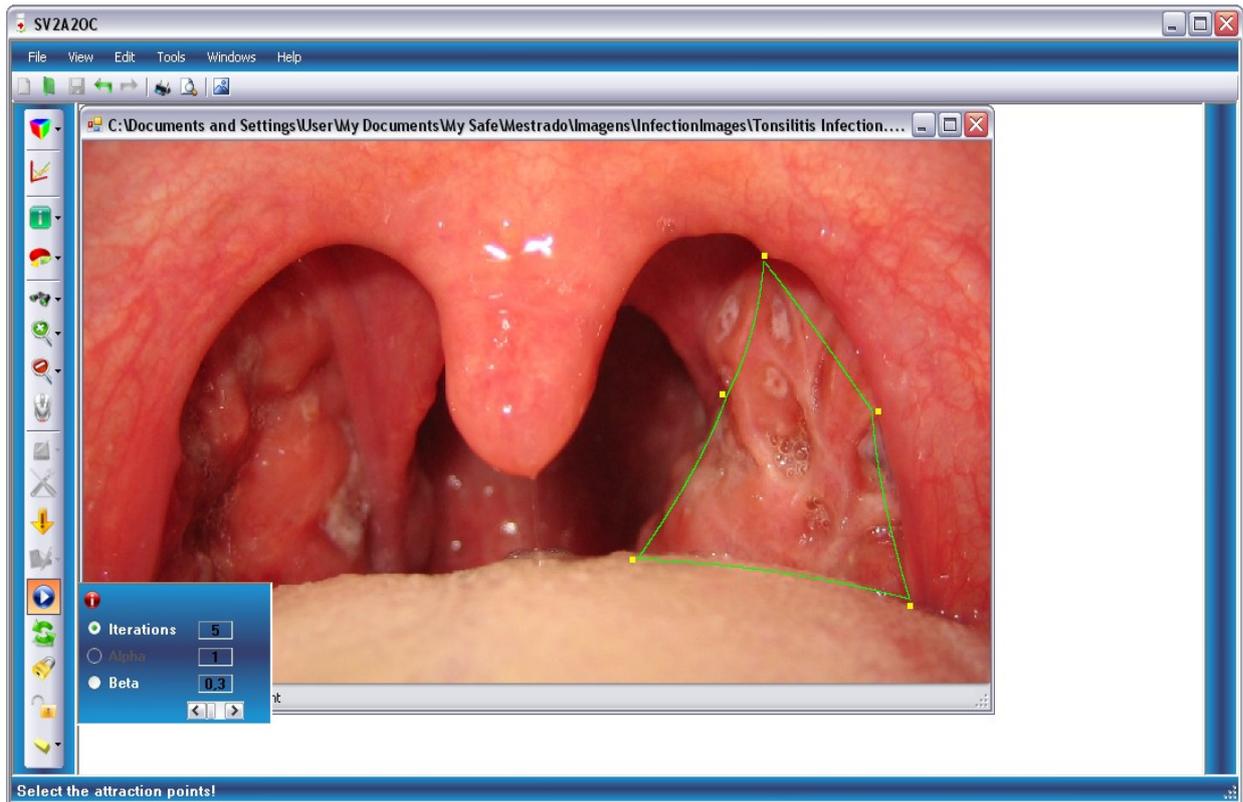
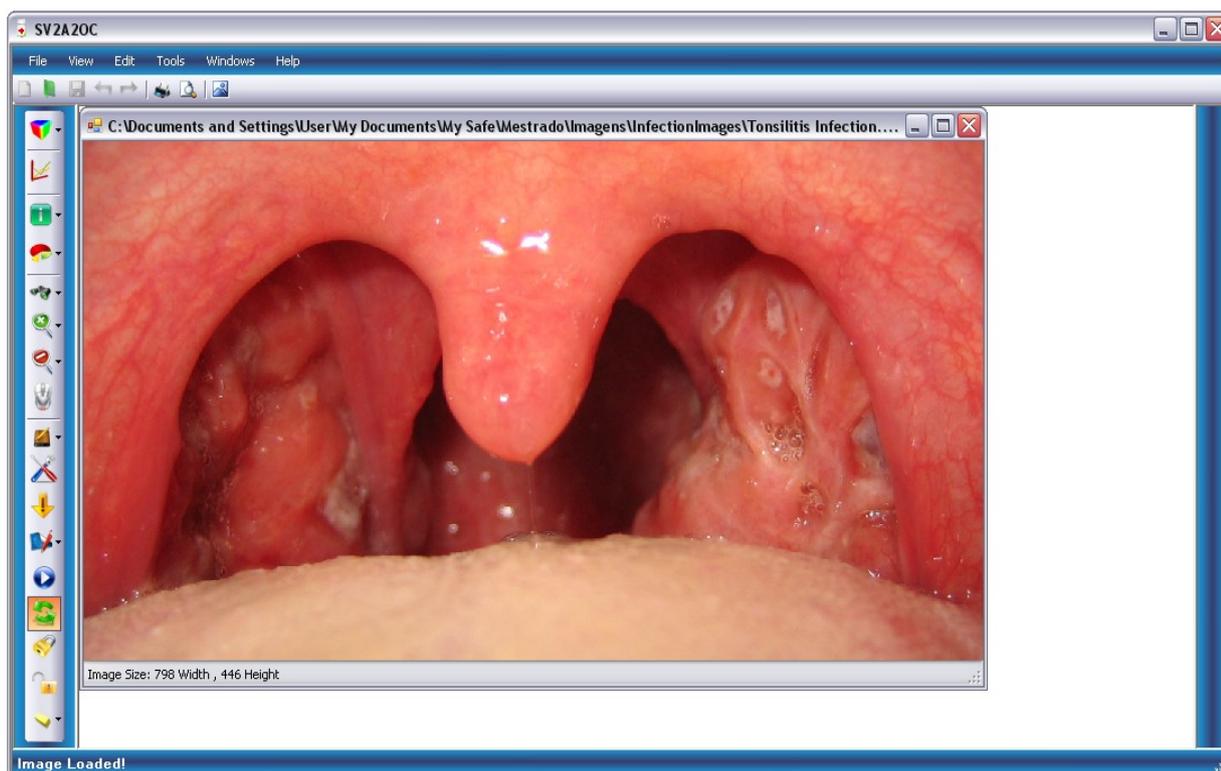


Figura B.26 – Identificação da funcionalidade de inicialização.

## RESTAURO

Restauro representa a funcionalidade que visa reiniciar a barra de opções, bem como todo o processo dinâmico do contorno activo. Restabelece a ordem de sequência das opções presentes na barra de opções, ao mesmo tempo que elimina qualquer parâmetro anteriormente definido, como por exemplo a definição de linhas de contraste, o posicionamento de pontos de atracção, entre outros.

Com o intuito de localizar a funcionalidade descrita, apresenta-se em seguida a figura disposta com esse respectivo propósito, B.27.



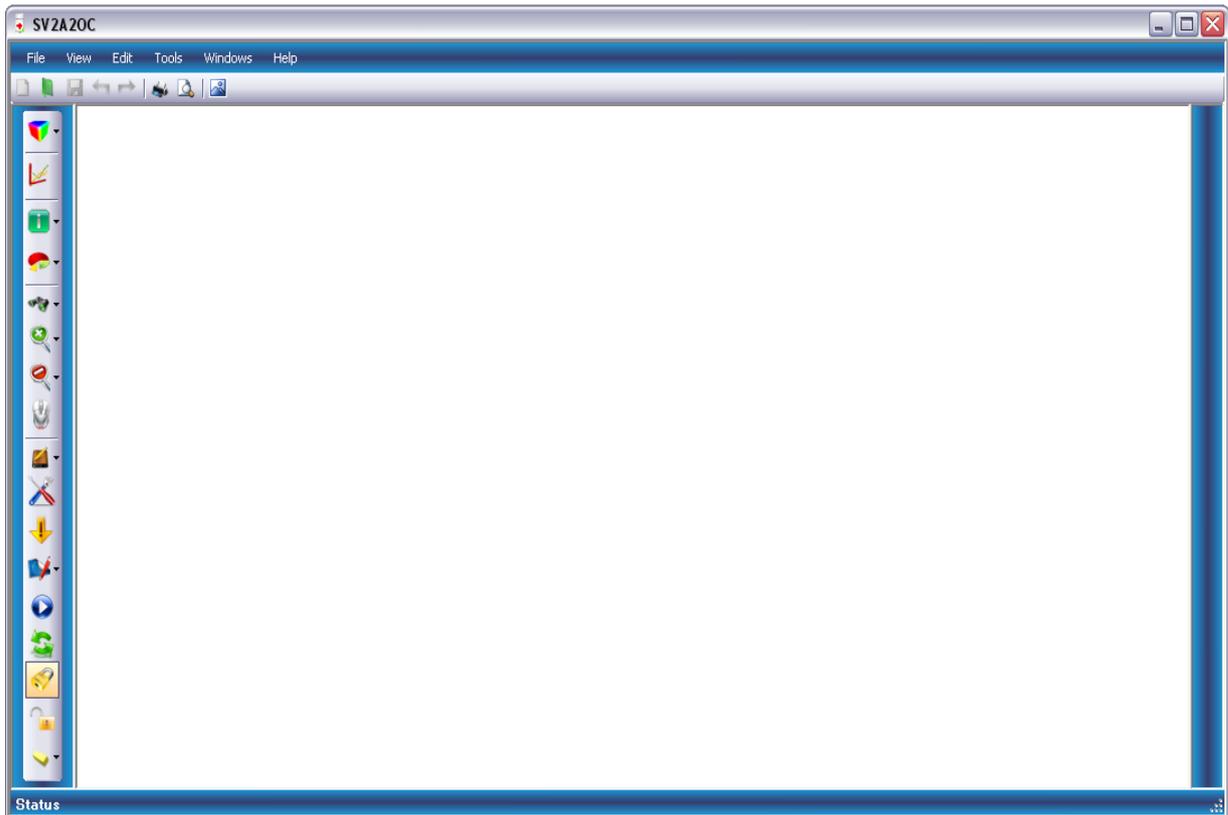
**Figura B.27 – Identificação da funcionalidade de restauro.**

#### **FECHO DO CONTORNO ACTIVO**



A funcionalidade descrita permite ao utilizador definir automaticamente o troço do contorno activo responsável por fechar o mesmo. Esta encontra-se disponível apenas no caso em que o utilizador opta por definir a configuração inicial do modelo através do desenho livre e após a definição do segundo troço, de modo a conseguir-se um contorno fechado.

A figura B.28 apresenta o posicionamento da funcionalidade descrita, de acordo com a disposição de opções presentes na barra vertical de ferramentas.



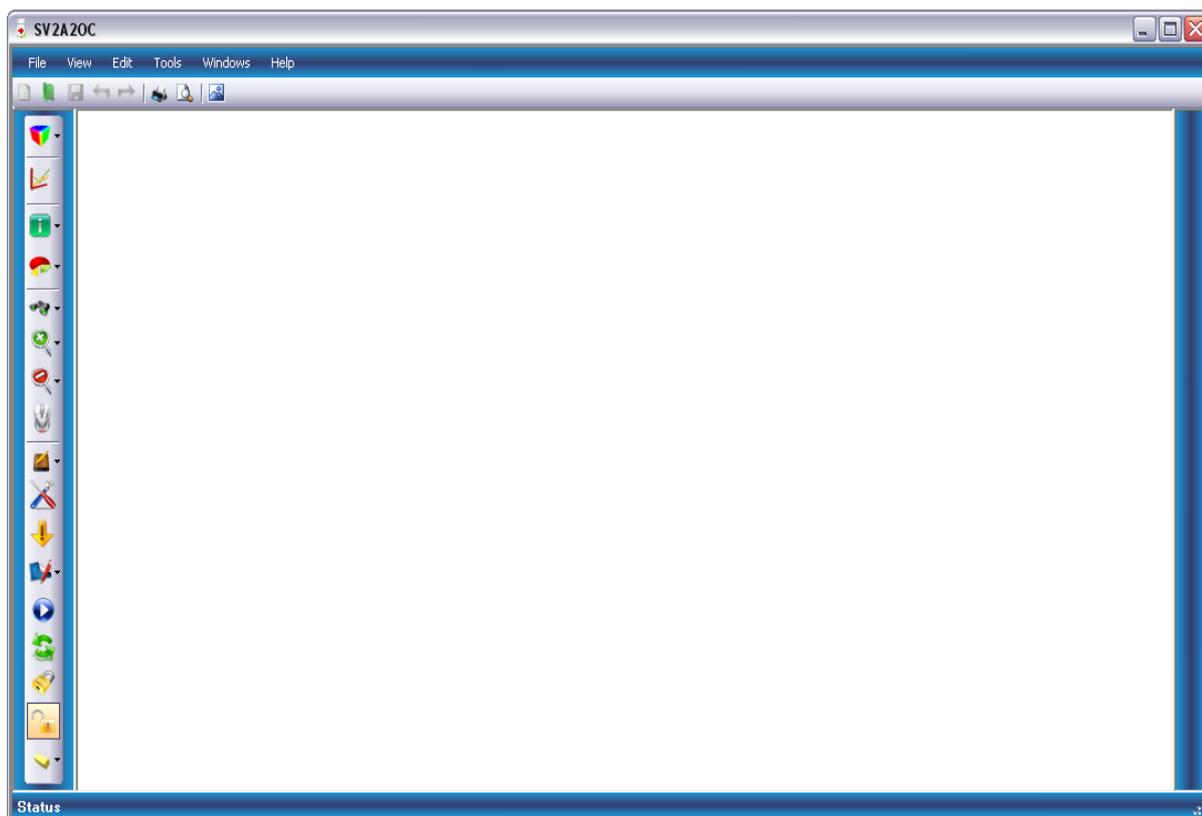
**Figura B.28 – Identificação da funcionalidade de fecho do contorno.**

## **ABERTURA DO CONTORNO**



Abertura do contorno define a funcionalidade concebida para permitir ao utilizador abrir o contorno com o objectivo de redefinir a configuração inicial do modelo, podendo assim proceder à adição de troços no mesmo. Deste modo, permite-se uma total configurabilidade do contorno activo tendo em conta que este poderá ser alvo de qualquer tipo de alteração passível de aplicação, neste caso, adição ou subtracção do número de troços constituintes. De notar, que não existe um valor máximo no que se refere ao número de troços, contudo, o modelo necessita obrigatoriamente de ser composto por um mínimo de três troços de forma a ser possível a sua consideração como contorno fechado.

A figura seguinte, B.29 pretende identificar a localização da funcionalidade em destaque.

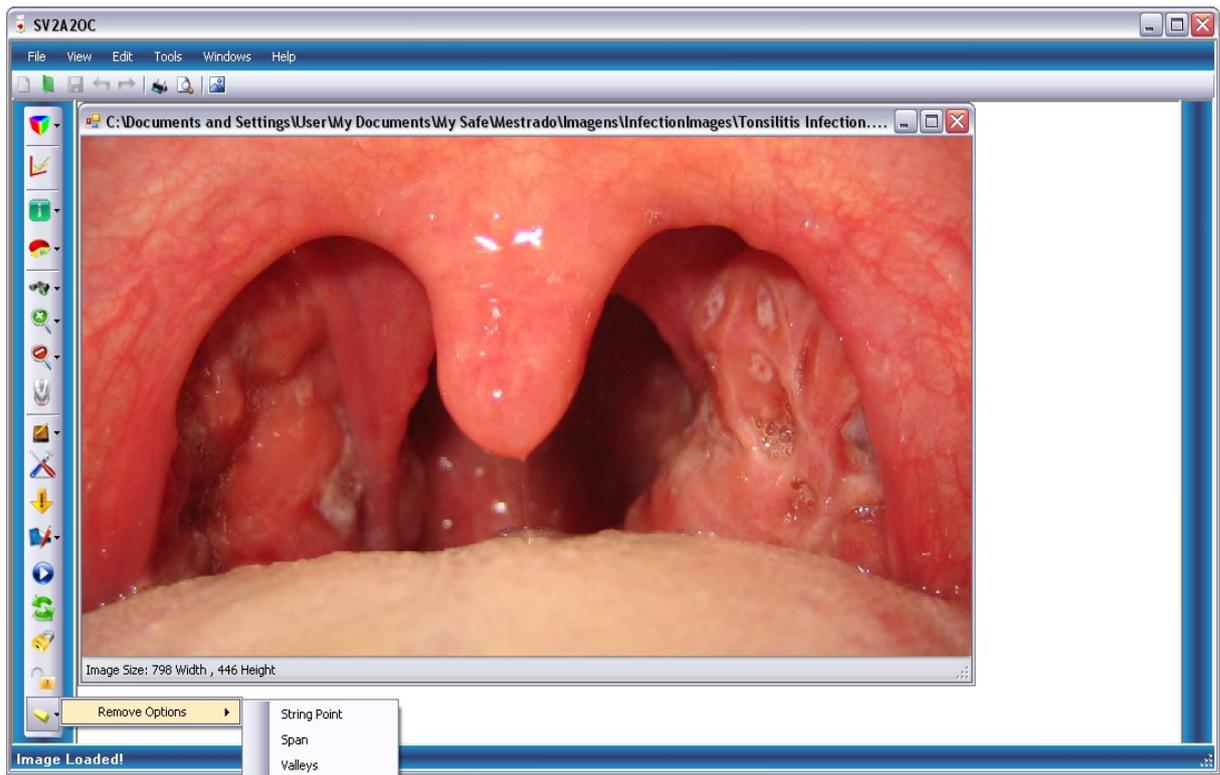


**Figura B.29 – Identificação da funcionalidade de abertura do contorno.**

### **ELIMINAÇÃO DE PARÂMETROS**

Concebida de modo a eliminar um conjunto de parâmetros de acordo com a pretensão do utilizador, a funcionalidade em actual descrição permite eliminar um determinado ponto de atracção posicionado indevidamente, tem igualmente a capacidade em eliminar um troço do contorno activo possibilitando a sua respectiva reconfiguração e por fim permite eliminar as regiões criadas em resultado do mapa potencial, as quais encontram-se denominadas por vales de intensidade.

A figura B.30 ilustra o painel de opções associado à respectiva ferramenta.



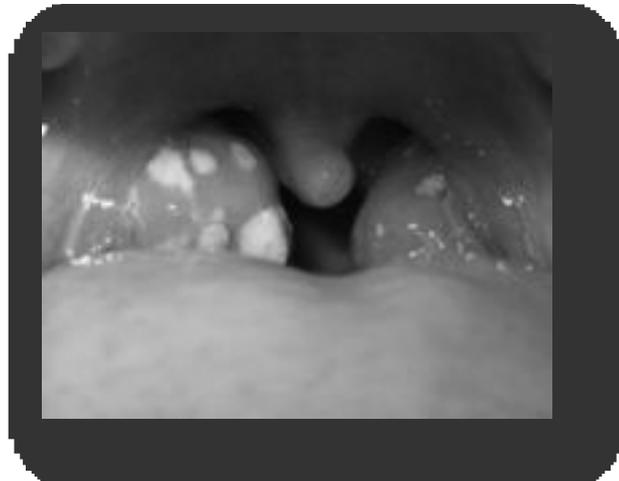
**Figura B.30 – Identificação da funcionalidade eliminação de parâmetros.**



### EQUALIZAÇÃO DE HISTOGRAMA

---

O terceiro e último anexo, entenda-se o anexo em presente descrição, pretende uma completa demonstração do processo de equalização de histograma de intensidades. De referir que o processo apresentado e consequentemente descrito diz respeito à resultante do processo de transformação para escala de cinzentos aplicada à figura C.1 contida nesta dissertação.



**Figura C.1 – Representação utilizada no processo de equalização de histograma.**

A imagem em questão é composta por vinte sete mil quinhentos e cinquenta *pixels*, distribuídos através de uma matriz de dimensão cento e noventa por cento e quarenta e cinco *pixels*, na horizontal e vertical, respectivamente. De notar, que cada um se encontra codificado a quatro *bit*, o que corresponde à disponibilidade de dezasseis níveis de intensidade.

A tabela C.1 visa a caracterização da imagem segundo a respectiva distribuição de níveis de intensidade, incluindo de igual modo a probabilidade associada a cada um dos mesmos.

$r_k$	$n_k$	$P_r(r_k)$
<b>0</b>	35	0,0013
<b>1/15</b>	92	0,0033
<b>2/15</b>	189	0,0069
<b>3/15</b>	1000	0,0363
<b>4/15</b>	2348	0,0852
<b>5/15</b>	1265	0,0459
<b>6/15</b>	2315	0,0840
<b>7/15</b>	1238	0,0449
<b>8/15</b>	925	0,0336
<b>9/15</b>	3298	0,1197
<b>10/15</b>	4877	0,1770
<b>11/15</b>	4831	0,1754
<b>12/15</b>	4339	0,1575
<b>13/15</b>	421	0,0153
<b>14/15</b>	254	0,0092
<b>1</b>	123	0,0045

Tabela C.1 – Distribuição de níveis.

A tabela C.2 representa a função de probabilidade acumulada. De referir que a concepção da mesma encontra-se suportada pela expressão 3.11 apresentada no capítulo 3 (três) da presente dissertação.

$S_0$	0,0013
$S_1$	0,0046
$S_2$	0,0115
$S_3$	0,0478
$S_4$	0,1330
$S_5$	0,1789
$S_6$	0,2629
$S_7$	0,3079
$S_8$	0,3415
$S_9$	0,4612
$S_{10}$	0,6382
$S_{11}$	0,8135
$S_{12}$	0,9710
$S_{13}$	0,9863
$S_{14}$	0,9955
$S_{15}$	1,0000

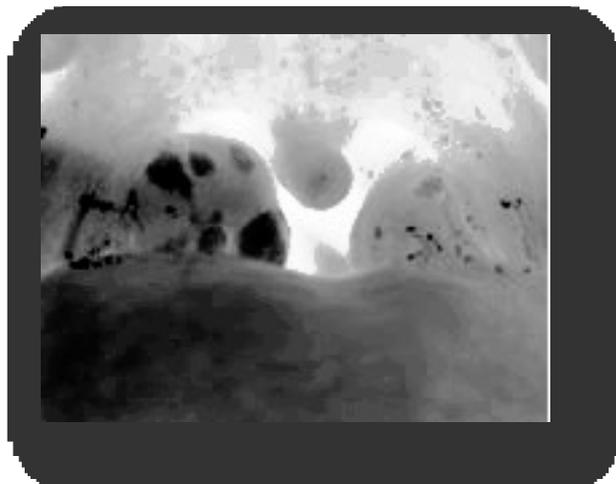
Tabela C.2 – Resultado da função de probabilidade acumulada.

Na tabela C.3 encontra-se o resultado da respectiva correspondência ao processo de equalização. Pretende-se que a análise à mesma permita verificar a ausência de representação por parte de determinados níveis de intensidade, sendo esses agora representados através de níveis diferentes.

$S_0$	0
$S_1$	0
$S_2$	0
$S_3$	1/15
$S_4$	2/15
$S_5$	3/15
$S_6$	4/15
$S_7$	5/15
$S_8$	5/15
$S_9$	7/15
$S_{10}$	9/15
$S_{11}$	12/15
$S_{12}$	1
$S_{13}$	1
$S_{14}$	1
$S_{15}$	1

**Tabela C.3 – Resultado do processo de equalização.**

A figura C.2 ilustra a expressão gráfica da aplicação do método de equalização do histograma de intensidades, aplicado à figura C.1 supra apresentada.



**Figura C.2 – Resultante gráfica do processo de equalização de histograma.**