

Medidas e Detecção de Estruturas Morfológicas Para Craniometria Usando Modelos 3D

Luís Neves

Departamento de Eletrónica, Tele-
comunicações e Informática
Univ. Aveiro, Portugal
luispneves@ua.pt

Paulo Dias

Departamento de Eletrónica, Tele-
comunicações e Informática
DETI / IEETA
Univ. Aveiro, Portugal
paulo.dias@ua.pt

Catarina Coelho

Departamento de Ciências da Vi-
da, Faculdade de Ciências e Tec-
nologia
Univ. Coimbra, Portugal
catarina.coelho.rs@gmail.com

Maria Teresa Ferreira

Centro de Ciências Forenses
Univ. Coimbra, Portugal
mtsferreira76@gmail.com

Hélder Santos

iDryas, Grupo Dryas Octopetala
Coimbra, Portugal
helder.santos@dryas.pt

Beatriz Sousa Santos

Departamento de Eletrónica, Tele-
comunicações e Informática
DETI / IEETA
Univ. Aveiro, Portugal
bss@ua.pt

Resumo

Este artigo descreve os recentes desenvolvimentos num trabalho ainda em curso referente a uma nova abordagem à craniometria tradicional baseada na análise de modelos digitais 3D de crânios através da aplicação CraMs (CranioMetric Measurements). O desenvolvimento desta aplicação tem como primeiro objetivo apoiar os antropólogos na obtenção de medidas craniométricas. Recentemente foi acrescentada a possibilidade de obter duas medidas adicionais baseadas em projeções de planos auxiliares. Foram ainda desenvolvidos e integrados na aplicação métodos para detetar estruturas de interesse através da análise da morfologia dos crânios. Estes métodos são baseados na curvatura e na deteção de sharp edges e suportam a extração de informação morfológica das órbitas e suturas cranianas, estruturas consideradas de interesse para o estudo dos crânios. Apresentam-se os métodos usados e os resultados obtidos em oito crânios.

Keywords

Craniometry, Morphology, 3D Models, Feature Detection.

1. INTRODUÇÃO

A craniometria é usada no campo da Antropologia para identificar o sexo, a ancestralidade e algumas variações populacionais [Oxnard74]. Na craniometria tradicional, os antropólogos fazem medições diretamente nos crânios. Contudo, esta abordagem tem alguns problemas: verifica-se uma baixa repetibilidade nas medições (intra- e inter-observador), os crânios tendem a ficar danificados devido ao manuseamento e a análise métrica de fragmentos de crânios é muito restrita [Utermohle82], [Stephens00].

O trabalho apresentado neste artigo foi desenvolvido para acrescentar novas funcionalidades à aplicação CraMs (CranioMetric Measurements). Esta aplicação visa auxiliar os antropólogos a obter medidas craniométricas, tentando diminuir o erro na análise e preservando os espécimes através do uso de modelos digitais 3D adquiridos por *scanning* dos crânios [Santos13].

A aplicação CraMs, tal como a craniometria tradicional, é baseada em medidas craniométricas definidas entre pontos craniométricos. No entanto, um dos campos que se integra na craniometria é a Geometria Morfométrica que consiste na análise e quantificação morfológicas dos crâ-

nios, ou seja, a avaliação de contornos, proporções, e volumes. Porém, estas avaliações são subjectivas se se utilizar apenas a craniometria tradicional [Gonzalez11], [Hefner09] tendo portanto uma aplicação limitada. Um dos objetivos do trabalho aqui apresentado é integrar na aplicação CraMs a possibilidade de cálculo de mais medidas e desenvolver métodos para a deteção de algumas estruturas morfológicas. A ideia subjacente é que a deteção de estruturas por análise morfológica usando métodos automatizados possa ser mais objetiva permitindo novas formas de analisar os crânios. De seguida apresenta-se brevemente a aplicação CraMs, a nova funcionalidade (possibilidade de deteção de novas medidas e análise de estruturas), os métodos que a suportam, bem como resultados obtidos em oito crânios.

2. APLICAÇÃO CRAMS

A aplicação *CraMs* (CranioMetric Measurements) foi desenvolvida em C++ usando o *VTK* para visualização e processamento 3D, e o *QT* para a interface gráfica [Dias13; Santos13]. A aplicação permite o alinhamento de crânios e a deteção de pontos craniométricos. Estes pontos são depois usados para calcular as medidas craniométricas.

2.1 Aquisição dos modelos

Os recursos fundamentais para o funcionamento da aplicação são os modelos 3D dos crânios. Estes são adquiridos através de um scanner de luz estruturada (*Breukmann SmartSCAN¹*). Uma equipa que inclui um técnico especialista em aquisição 3D (HS) e uma antropóloga (CC) estão envolvidos no processo para garantir melhores resultados. Tipicamente, o modelo 3D final é composto por 1.5 milhões de pontos, com um erro de aquisição abaixo dos 30µm. Mais informações sobre este processo podem ser encontradas em [Dias13].

2.2 Medidas disponíveis

Como já foi referido anteriormente, as medidas craniométricas são obtidas a partir dos pontos craniométricos. Estes pontos podem ser definidos na aplicação CraMs de três formas: automaticamente, sem interação do utilizador; semi-automaticamente, onde o utilizador providencia manualmente uma estimativa inicial da localização do ponto que depois é refinada usando informação de curvatura do modelo e conhecimento *a priori* do ponto a determinar; manualmente, dependendo unicamente da sugestão do utilizador. Na Figura 1 estão representados alguns dos pontos craniométricos.

Na versão da aplicação desenvolvida em [Santos13] era possível obter 12 das 24 medidas selecionadas para a análise antropológica dos crânios, cujas denominações se apresentam na Tabela 1.

Tabela 1: Medidas disponíveis na aplicação inicial do CraMs.

ZYB – largura bizigomática	BBH – altura basion-bregma	BPL – comprimento basion-prostion	AUB – largura biauricular
XCB – largura máxima craniana	BNL – comprimento nasion-basion	UFHT – altura facial superior	NLH - altura nasal
GOL – comprimento crânio máximo	FRC – corda frontal	MAB – largura maxilo-alveolar	UFBR – largura facial superior

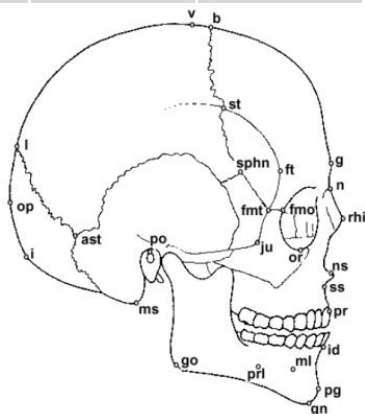


Figura 1: Vista lateral do crânio com anotações em alguns pontos craniométricos.

2.3 Medidas adicionais

Uma das limitações da versão inicial da aplicação CraMs era o número limitado de medidas disponibilizadas, que

permitia uma análise demasiado simplista da morfologia de um crânio. Para resolver esse problema, foram desenvolvidos métodos para obter as restantes 12 medidas craniométricas. A denominação das 12 medidas que foram adicionadas é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Medidas adicionadas à aplicação CraMs.

WFB – largura frontal mínima	NLB – largura nasal	FOB – largura do foramen magnum	EKB – largura biorbitária
DKB – largura interorbital	PAC – corda parietal	OCC – corda occipital	FOL – comprimento do foramen magnum
OBB – largura orbital	OBH – altura orbital	MAL – comprimento maxilo-alveolar	MDH – altura do processo mastóide

Algumas destas medidas são difíceis de obter usando os métodos tradicionais manuais (medições com recurso à craveira ou compasso), nomeadamente as medidas MAL e MDH. Estas requerem o uso de projeções e foram obtidas na aplicação através do uso de planos definidos pelo utilizador. A Figura 2 exemplifica a obtenção destas medidas através dos métodos tradicionais e com a aplicação CraMs.

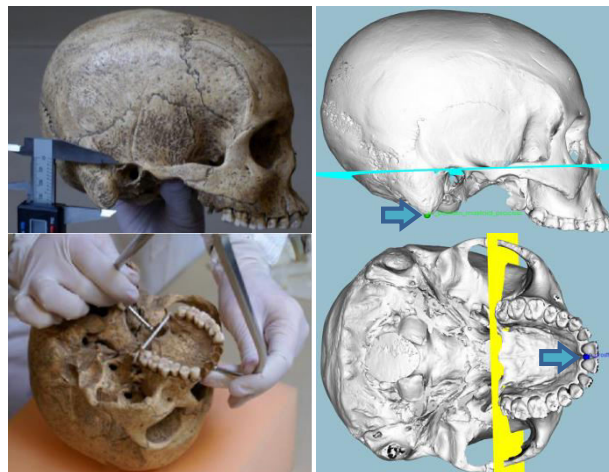


Figura 2: Medidas MDH (em cima) e MAL (em baixo) obtidas com métodos tradicionais (esquerda) [Coelho12] e com a aplicação CraMs (direita).

Na aplicação, os planos de referência estão representados a azul claro e a amarelo, os pontos craniométricos a verde e a azul, para as medidas MDH e MAL respetivamente.

3. ANÁLISE DA GEOMETRIA MORFOMÉTRICA

Na craniometria, apesar de ser uma área de investigação em expansão, ainda são poucos os estudos que usam informações sobre geometria morfométrica. Isto deve-se ao facto de ser difícil, usando apenas métodos tradicionais, descrever e classificar formas morfológicas complexas como o crânio de forma objetiva [Gonzalez11], [Hefner09]. Contudo, com o desenvolvimento de aplicações de *software* e utilização de modelos 3D, torna-se possível explorar novos métodos para obter informações sobre estruturas morfológicas do crânio de forma objetiva.

Embora o crânio possua diversas estruturas morfológicas de interesse, foi necessário começar por definir quais as primeiras a abordar, tendo sido selecionadas as órbitas

¹ <http://aicon3D.com/>

(estruturas ósseas onde, no vivo, se alojam os olhos – Figura 3) e as suturas (que são as articulações fibrosas que unem os ossos do crânio). A Figura 4 mostra a sutura Sagital (localiza-se na região superior do crânio, na zona de união dos dois ossos parietais) que foi usada para testes dado a sua importância na análise da morfologia craniana.

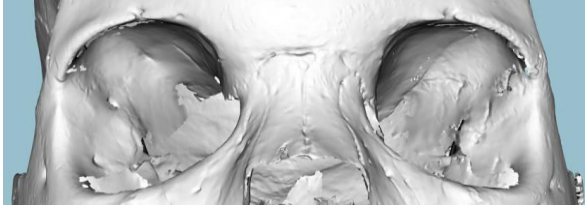


Figura 3: Órbitas num modelo 3D (vista anterior).



Figura 4: Sutura sagital num modelo 3D (vista superior).

3.1 Conceitos Utilizados

Para detetar as estruturas de interesse nos crânios, decidiu-se usar inicialmente os valores de curvatura por já serem usados na aplicação CraMs. Depois de obter alguns resultados, optou-se por recorrer a uma melhor filtragem dos vértices através de um algoritmo de segmentação para definir quais os vértices que pertencem a zonas de interesse (*Sharp Edges*).

3.1.1 Valores de curvatura

Estes valores são obtidos através da extração de informação sobre o tipo e intensidade da curvatura numa superfície. Para extrair esta informação são definidas as Curvaturas Principais. Estas consistem no máximo e mínimo das Curvaturas Normais para cada vértice da superfície. São depois usadas para calcular os valores de curvatura Média e Gaussiana para cada vértice da superfície. Com estes valores é possível classificar uma superfície como sendo côncava, plana ou convexa (Figura 5).

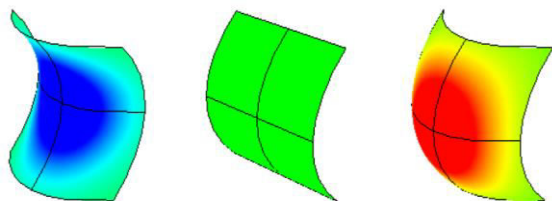


Figura 5: Tipos de superfície. Côncava (esquerda), plana (centro) e convexa (direita) [Santos13].

3.1.2 Sharp edges

Foi usado um algoritmo que permite determinar quais os vértices que definem zonas distintas na superfície. Este é descrito por Vieira e Shimada [Vieira05] e usa um conceito ao qual os autores dão o nome de *Sharp Edges*. O algoritmo é simples e fácil de implementar, contudo o seu desempenho é influenciado pela resolução do modelo usado.

O algoritmo baseia-se em duas expressões. Inicialmente, para cada vértice x_i do modelo, o tamanho da vizinhança é determinado calculando o comprimento médio das arestas adjacentes aplicando a expressão (1).

$$I_{avg,i} = \frac{1}{N} \sum_{j \in N(i)} \|x_j - x_i\| \quad (1)$$

Depois, o vértice é considerado como sendo parte de uma *sharp edge* se a expressão (2) se verificar.

$$\frac{1}{|k_i|} < \lambda \cdot I_{avg,i} \quad (2)$$

Onde N é o número de vizinhos de x_i , $N(i)$ é o conjunto de vizinhos de x_i , $\frac{1}{|k_i|}$ é o raio de curvatura mínimo para o vértice x_i e k_i é o valor de curvatura para esse vértice. O valor do λ deve ser ajustado de acordo com a resolução do modelo e a precisão dos resultados esperados. Na Figura 6 estão representados a vermelho os sharp edges detetados usando os valores de curvatura gaussiana e um fator λ igual a 55, numa órbita e em algumas suturas da calote craniana.

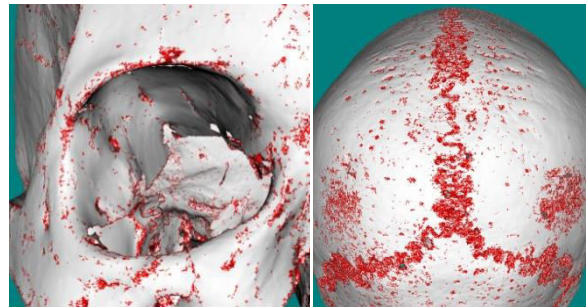


Figura 6: Representação dos *sharp edges* (vermelho) nas zonas de interesse: órbita (esquerda) e suturas sagital e lambóide (direita).

É de referir que foram feitos testes com os dois tipos de curvatura (média e gaussiana) e usando diversos fatores λ (entre 1 e 60) para determinar quais seriam os parâmetros mais adequados. Depois de alguns testes, decidiu-se empiricamente usar a curvatura gaussiana e um fator λ que varia diretamente com o número de vértices do modelo (dividindo este por 30.000).

3.2 Métodos de deteção das órbitas

3.2.1 Usando curvatura

Inicialmente foi desenvolvido um método para a deteção das órbitas baseado unicamente nos valores de curvatura. Com base em três pontos de referência definidos pelo utilizador, o método define uma estrutura fechada constituída por pontos de curvatura máxima. Os resultados deste método estão representados na Figura 7 para a mesma órbita, usando modelos 3D de baixa e de alta resolução. A cor das esferas representa a ordem pela qual as estruturas foram definidas pelo método (começando no preto e seguindo para o amarelo).

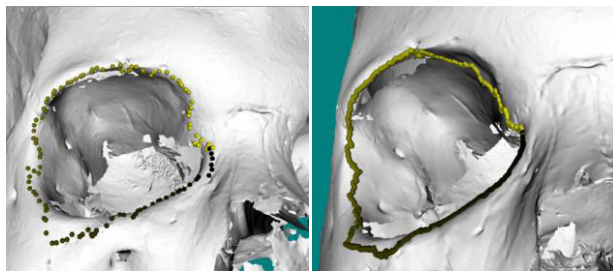


Figura 7: Detecção de uma órbita com curvatura em modelos 3D de resolução baixa (esquerda) e alta (direita).

Estes resultados preliminares, usando exclusivamente os valores de curvatura, mostraram claramente que apenas a curvatura não seria suficiente para permitir uma deteção rigorosa das estruturas sendo necessário introduzir uma filtragem adicional.

3.2.2 Usando sharp edges

Por forma a refinar o método de deteção foi usado o conceito de *sharp edges* para obter uma melhor filtragem dos vértices usados na constituição da estrutura. Inicialmente, aumentou-se o número de pontos de referência marcados pelo utilizador de três para quatro. A estrutura detetada no mesmo crânio, constituída por *sharp edges*, está representada na Figura 8 à esquerda. Os quatro pontos de referência estão assinalados a verde (e por setas azuis), a cor das esferas indica a ordem com que esta foi definida.

Depois de definida a estrutura é encontrado o plano que melhor se ajusta aos pontos desta. O resultado deste processo está representado na Figura 8 à direita.

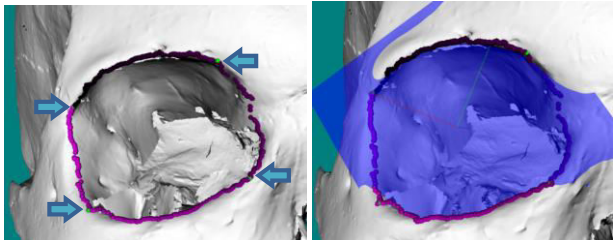


Figura 8: Resultado da deteção de uma órbita com *sharp edges* num modelo de alta resolução (esquerda) e resultado do ajuste do plano à estrutura (direita).

Finalmente é feita a projeção dos pontos da estrutura sobre o plano e definido um novo sistema de coordenadas. Os pontos estão representados na Figura 9 pelas esferas azuis (coincidentes com o plano) e os semi-eixos coordenados pelas linhas vermelha, verde e amarelo.

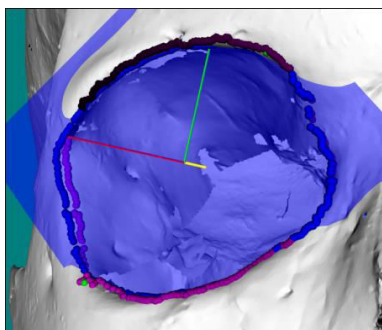


Figura 9: Resultado da projeção dos pontos e definição do sistema de coordenadas na deteção de uma órbita.

Neste novo sistema de coordenadas (definido no plano da órbita) é calculada a elipse que melhor se ajusta a este conjunto de pontos. O resultado deste processo está representado na Figura 10. As esferas azuis são os pontos projetados, as esferas vermelhas são os pontos da elipse, as linhas amarela e azul claro representam os eixos da elipse. O comprimento destes eixos é depois usado para definir as medidas OBB e OBH. Estas duas medidas são difíceis de obter usando métodos tradicionais pois a sua definição implica que tenham que ser perpendiculares entre si, sendo esta restrição sempre garantida ao usar os eixos da elipse para as definir. A forma como estas medidas são obtidas usando métodos tradicionais está demonstrada na Figura 11.

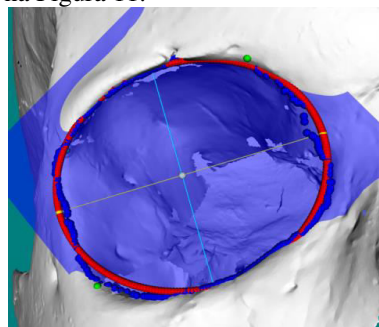


Figura 10: Resultados do ajuste da elipse aos pontos projetados.



Figura 11: Demonstração da obtenção das medidas OBB (esquerda) e OBH (direita) usando métodos tradicionais [Coelho12].

3.3 Método de interação

No método de deteção das órbitas usando *sharp edges* (ver seção 3.2.2), como foi referido, inicialmente eram utilizados quatro pontos de referência, marcados pelo utilizador, para detetar a estrutura constituída por *sharp edges* (representada na Figura 8). Contudo, após efetuar alguns testes ao método de deteção notou-se que ter um número fixo de pontos de referência prejudicava a interação e os resultados da deteção. De modo a resolver este problema foi implementado um novo método de interação para permitir um número de pontos de referência variável. Neste método, a estrutura constituída por *sharp edges* é inicializada com base em dois pontos marcados pelo utilizador. Depois de estar inicializada, o utilizador pode ir marcando pontos para guiar a estrutura. Em qualquer momento, o utilizador pode finalizar o processo indicando que quer fechar a estrutura (unindo o último ponto que marcou com o primeiro) e confirmando o resultado final. É importante referir que é possível ir apagando as seções que já foram detetadas caso estas não sejam satisfatórias e adicionar mais pontos para guiar o algoritmo. Na Figura 12 estão exemplificadas as estrutu-

ras obtidas no mesmo crânio usando três e sete pontos de referência (assinalados a verde e por setas azuis).

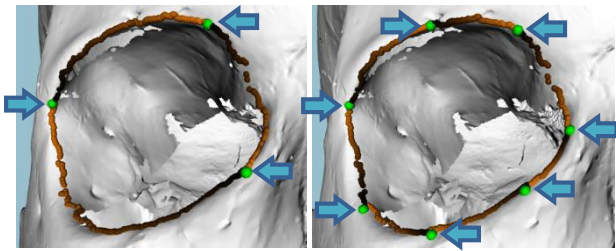


Figura 12: Estrutura da órbita detetada com três (esquerda) e sete (direita) pontos de referência.

3.4 Métodos de deteção das suturas

3.4.1 Usando curvatura

Foi usado para deteção das suturas um método semelhante ao método de deteção das órbitas baseado apenas nos valores de curvatura. Com base em dois pontos de referência marcados pelo utilizador, o método encontra um caminho que os liga através de pontos de curvatura mínima. Os resultados deste método estão representados na Figura 13 para a mesma sutura, usando modelos de baixa e de alta resolução. A cor das esferas representa a ordem com que a estrutura foi definida pelo método.

Como se pode ver na Figura 13, no modelo de alta resolução este método já mostrava alguns problemas em detetar uma sutura simples.

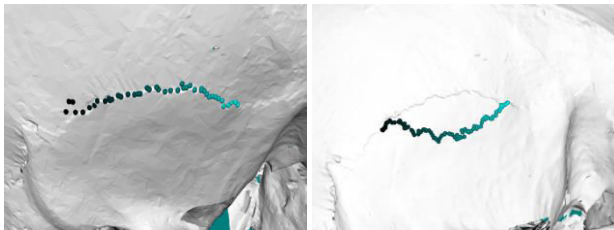


Figura 13: Deteção da sutura escamosa com curvatura em modelos de resolução baixa (esquerda) e alta (direita).

3.4.2 Usando sharp edges

O método de deteção das órbitas usando *sharp edges* (explicado em 3.2.2), foi adaptado para a deteção das suturas. Com base em dois pontos de referência marcados pelo utilizador nas extremidades da sutura, o método começa por definir uma estrutura que os une diretamente constituída por *sharp edges*. Para cada ponto desta estrutura a primeira vizinhança (pontos adjacentes) é verificada e os pontos considerados como *sharp edges* são guardados. Este processo é repetido iterativamente até não serem encontrados novos *sharp edges* ou até ser atingido um limite de vizinhança (definido na aplicação). O resultado deste método está representado na Figura 14. A estrutura inicial está representada pela linha de esferas azuis, na qual a cor indica a ordem com que foi definida, e os pontos considerados como sendo parte da sutura estão representados por esferas ciano.

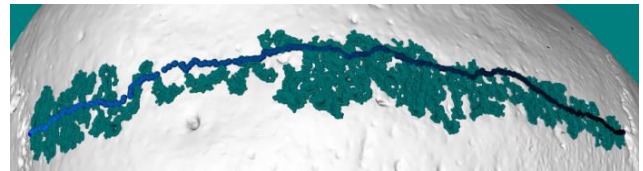


Figura 14: Resultado da deteção com *sharp edges* da sutura sagital num modelo de alta resolução.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos com os métodos de deteção usando *sharp edges*. Os resultados obtidos com os métodos usando somente os valores de curvatura são preliminares e não foram quantificados. À exceção das suturas todos os valores foram obtidos pelas antropólogas (CC e MTF).

4.1 Medidas com projeções

Foram obtidas as medidas MAL e MDH usando a aplicação CraMs e comparadas com as obtidas por uma antropóloga usando craniometria tradicional (M.T.) (Tabela 3). Para dois crânios (#21 e #38) não foi possível obter o valor da medida MAL devido à fragmentação da região anatómica a analisar. Na secção 8 apresentam-se os resultados para os oito crânios.

Tabela 3: Valores das medidas MAL e MDH obtidos usando os dois métodos.

Medida	Crânio #67			
	Antr #1		Antr #2	
	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.
MAL	54	57	53,6	59
MDH	25,8	27	23,5	25

Para fazer uma análise mais rigorosa dos valores obtidos foi calculado o índice de precisão TEM (Erro Técnico de Medição), que também é usado regularmente em estudos craniométricos para exprimir a margem de erro das medidas [Perini05]. O valor do TEM é calculado aplicando a expressão (3) seguida da expressão (4).

$$TEM \text{ absoluto} = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n}} \quad (3)$$

$$TEM \text{ relativo} = \frac{TEM \text{ absoluto}}{VAV} * 100 \quad (4)$$

Nas quais $\sum d_i^2$ é a soma dos desvios elevados ao quadrado, i é o número de desvios, n é o número de medidas, TEM relativo é o erro técnico expresso em percentagem e VAV é o valor médio variável (média da média entre todas as observações, para cada medida). Os valores de TEM relativo calculados para as duas medidas obtidas com os dois métodos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Valores de TEM relativo obtidos para as medidas MDH e MAL usando os dois métodos em oito crânios.

Medida	CraMs (%)	M.T. (%)	Número de medidas
MAL	1,19	3,12	6 (em 8)
MDH	5,12	6,03	8 (em 8)

Analisando estes valores verifica-se que há uma diminuição do erro inter-observador usando a aplicação CraMs. Estas medidas são frequentemente excluídas em estudos craniométricos devido ao grande erro que é usual obter através dos métodos tradicionais. Contudo, ao comprovar-se uma redução constante do erro através da utilização do CraMs num estudo mais abrangente (efetuado em mais crânios), será possível que estas medidas passem a ser utilizadas recorrentemente, melhorando assim a análise craniométrica.

4.2 Detecção das Órbitas

Foram obtidas as medidas OBB e OBH para oito crânios usando o método de deteção abordado em 3.4 (com *sharp edges*). A Tabela 5 mostra os valores obtidos para um dos oito crânios.

Tabela 5: Valores das medidas OBB e OBH obtidos usando os dois métodos.

Medida	Crânio #57			
	Antr #1		Antr #2	
	CraMs	M. T.	CraMs	M. T.
OBB	42,7	43	43	43
OBH	32,8	33	32,7	32

Foram calculadas as percentagens de diferença entre as medidas obtidas nos oito crânios usando os dois métodos. Estas percentagens estão representadas na Figura 15

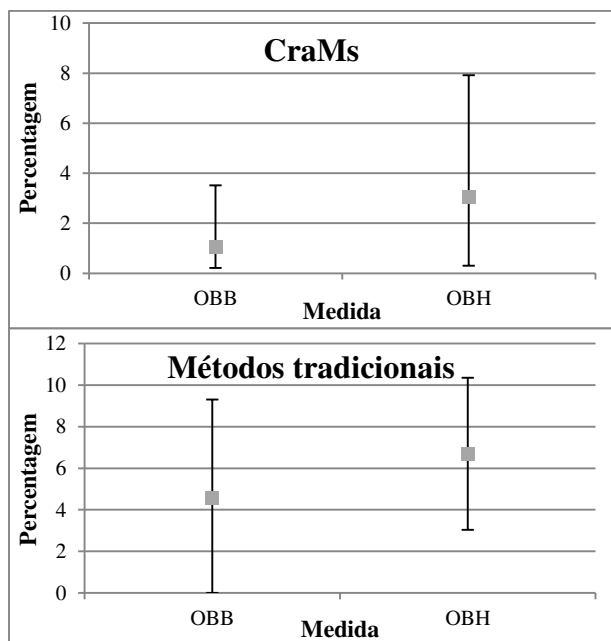


Figura 15: Percentagens de diferença entre medidas usando a aplicação (em cima) e usando métodos tradicionais (em baixo).

Analisando a Figura 15, verifica-se que há uma descida nas percentagens de diferença média e nos limites obtidos usando a aplicação. Também para estas medidas foram calculados os valores de TEM relativo (ver seção 4.1). Estes estão apresentados na Tabela 6 para os dois métodos, usando a aplicação e os métodos tradicionais.

Tabela 6: Valores de TEM relativo obtidos para as medidas OBB e OBH usando os dois métodos em oito crânios.

Medida	CraMs (%)	M.T. (%)	Número de medidas
OBB	1,01	3,77	8 (em 8)
OBH	3,17	4,84	8 (em 8)

Os valores de TEM confirmam que há uma diminuição no erro inter-observador usando a aplicação. Esta diminuição é bastante mais evidente para a medida OBB com uma redução do erro para quase um quarto do correspondente usando métodos tradicionais.

4.3 Detecção das Suturas

Em Antropologia, a classificação da complexidade das suturas varia de autor para autor, sendo comum a classificação em simples, intermédia ou complexa (Figura 16) [Rhine90]. Tendo este facto em mente, um dos autores (LN) classificou a sutura sagital nos oito crânios.

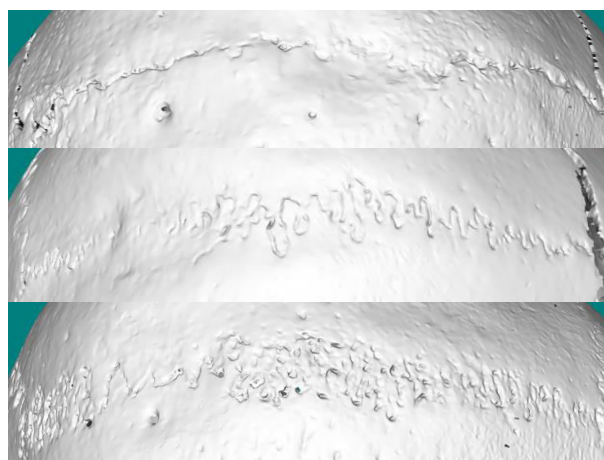


Figura 16: Exemplos dos três tipos de suturas. Simples (em cima), intermédia (centro) e complexa (em baixo).

Na Tabela 7 são apresentadas as classificações da mesma sutura nos oito crânios, o número de vértices que constituem o modelo, o número de pontos considerados como sendo parte da sutura e o rácio em percentagem entre o número de pontos na sutura e o número de vértices total no modelo.

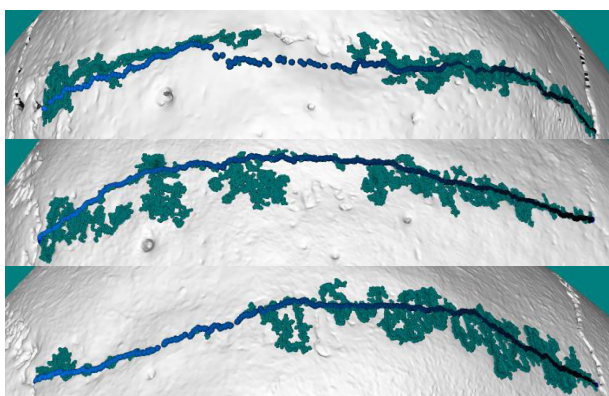
À exceção dos três últimos valores (a negrito) parece haver uma relação direta entre o rácio e a classificação atribuída, verificando-se um aumento no rácio de acordo com a complexidade da sutura.

Nos três crânios em que esta relação não se verificou nota-se a obliteração² da sutura que pode explicar esta discrepância. No crânio número 66, por exemplo, o caminho inicial encontrado pelo método não é o ideal. A Figura 17 mostra os três crânios com problemas na deteção da sutura sagital.

² Com o avançar da idade, dá-se a obliteração das suturas craniais. Ou seja, as suturas começam a encerrar, ficando menos nítidas e podendo mesmo desaparecer.

Tabela 7: Resultados da deteção da sutura Sagital em oito crânios.

Crânio	Classificação	Vértices M.	Pontos S.	Rácio (%)
#21	Intermédia	1.370.198	17.787	1,30
#25	Complexa	1.512.605	46.645	3,08
#38	Simples	1.801.451	6.869	0,38
#39	Intermédia	1.849.701	35.778	1,93
#57	Intermédia	2.096.164	35.128	1,68
#65	Simples	1.711.944	18.280	1,07
#66	Intermédia	2.440.999	22.428	0,92
#67	Intermédia	2.229.845	24.609	1,10

**Figura 17: Problemas na deteção das suturas. Crânio 65 (em cima), crânio 66 (centro) e crânio 67 (em baixo).**

5. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Com a aplicação CraMs é possível obter todas as 24 medidas craniométricas mais comumente utilizadas, incluindo quatro difíceis de obter com os métodos tradicionais (MAL, MDH, OBB e OBH). Os resultados aqui apresentados para estas medidas, embora só tenham incidido sobre oito crânios, são interessantes e sugerem claramente que estas medidas poderão vir a ser utilizadas mais frequentemente em estudos craniométricos devido às reduções do erro quando obtidas através da aplicação CraMs.

Em relação à geometria morfométrica, os métodos aqui apresentados podem ser considerados como um ponto de partida para futuros estudos craniométricos. Estes métodos foram desenvolvidos com o objetivo de explorar novas áreas computacionais capazes de proporcionar ferramentas simples, precisas e, por conseguinte, replicáveis, à prática quotidiana de um antropólogo físico e/ou forense. O método de deteção das órbitas produziu resultados interessantes com reduções significativas do erro nas medidas quando aplicado a um número significativo de crânios (oito). Quanto à deteção das suturas foram obtidos resultados preliminares promissores. Contudo, de forma a comprovar a sua mais-valia, estes métodos carecem de ser testados num maior número de crânios, designadamente crânios de diferentes origens populacionais e de diferentes cronologias, análise esta que será o próximo passo deste projeto de investigação transdisciplinar.

Em relação à aplicação, com base nos resultados obtidos, o passo seguinte será desenvolver os métodos computacionais, tornando-os mais precisos e automatizados. A exploração de novos métodos computacionais e/ou a deteção de outras estruturas morfológicas do crânio é também um objectivo futuro. Por fim, e mais ambicioso, será o desenvolvimento de um método para alinhar e reconstruir zonas do crânio fragmentadas. Além de inovador, é de uma grande mais-valia na prática antropológica onde a fragmentação dos crânios é frequente, dificultando ou mesmo inviabilizando a sua análise.

Há que salientar a extrema importância do crânio na análise antropológica, já que é das peças ósseas mais informativas. Como se referiu brevemente na introdução, através da análise do crânio é possível aceder ao sexo, à ancestralidade e à idade à morte do indivíduo, parâmetros essenciais a qualquer análise antropológica. Além disso, é a estrutura óssea de base da face do indivíduo em vida. Ou seja, um crânio completo permite a reconstrução da face do indivíduo, parâmetro relevante na análise de esqueletos de personagens históricas e de extrema importância na identificação de desaparecidos em casos forenses. Por conseguinte, o desenvolvimento de métodos que permitam uma análise precisa, replicável e cuja taxa de erro é quantificável, mesmo de crânios fragmentados, é fundamental, sobretudo na prática forense, onde os resultados da análise antropológica devem ser particularmente robustos para servirem de prova judicial.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores querem agradecer ao Daniel Santos pelo trabalho desenvolvido na sua tese de mestrado que é o ponto de partida para os métodos aqui apresentados. Um agradecimento à iDryas, Grupo Dryas Octopetala, pelo financiamento dos trabalhos de aquisição e processamento dos modelos usados neste trabalho, em particular ao Hélder Santos e ao Miguel Almeida.

Um agradecimento ainda ao Samuel Silva pela sua sugestão e pela sua disponibilidade que foram essenciais para o desenvolvimento dos métodos de deteção de morfologia.

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto PEst-OE/EEI/UI0127/2014).

7. REFERÊNCIAS

- [Coelho12] C. Coelho. Uma identidade perdida no mar e reencontrada nos ossos: Avaliação das afinidades populacionais de uma amostra de escravos do século XV-XVI. *Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra*, 2012.
- [Dias13] P. Dias, D. Santos, D. Souza, H. Santos, C. Coelho, M. T. Ferreira, E. Cunha e B. Sousa Santos. A new Approach for 3D Craniometric Measurements Using 3D Skull Models. *Proceedings of 17th International Conference on Information Visualization (IV'13)*, pp. 462-467, Jul 2013.
- [Gonzalez11] P. N. Gonzalez, V. Bernal e S. I. Perez. Analysis of sexual dimorphism of craniofacial traits using geometric morphometric techniques. *Intern-*

tional Journal of Osteoarchaeology, vol. 21, pp. 82-91, 2011.

[Hefner09] J. T. Hefner. Cranial nonmetric variation and estimating ancestry*. *Journal of Forensic Sciences*, vol. 54, pp. 985-995, 2009.

[Oxnard74] C. E. Oxnard. Cranial Variation in Man - Study by Multivariate Analysis of Patterns of Difference among Recent Human Populations - Howells, Wh. *Am J Phys Anthropol*, vol. 41, pp. 349-351, 1974.

[Perini05] T. A. Perini, G. L. Oliveira, J. d. S. Ornellas e F. P. Oliveira. Technical error of measurement in anthropology. *Rev Bras Med Esporte*, vol. 11, no. 1, pp. 86-90, 2005.

[Rhine90] Rhine, S. 1990. Non-metric skull racing. In: Gill, G.W.; Rhine, S. (eds.). *Skeletal attribution of race: methods for forensic anthropology*. New Mexico. Maxwell Museum of Anthropology: 9-20.

[Santos13] D. Santos. Modelos cranianos 3D: nova abordagem cranométrica. *Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro*, Jul 2013.

[Stephens00] C. Stephens. Measure of Truth? An Examination of the History, Methodology, Theory and Practice of Craniometric Analysis: With Special Focus on its Application in Forensic Identification. *Totem: The University of Western Ontario Journal of Anthropology*, vol. 8, pp. 83-108, 2000.

[Utermohle82] C. J. Utermohle e S. L. Zegura. Intra- and interobserver error in craniometry: a cautionary tale. *Am J Phys Anthropol*, vol. 57, pp. 303-10, Mar 1982.

[Vieira05] M. Vieira e K. Shimada. Surface mesh segmentation and smooth surface extraction through region growing. *Computer-Aided Geometric Design*, vol. 22, pp. 771-792, 2005.

8. APÊNDICE

Neste apêndice são apresentadas as tabelas de valores obtidas para todos os oito crânios. Os valores assinalados com α não foram possíveis de obter devido à fragmentação.

Medida	Crânio #21				Crânio #25				Crânio #38				Crânio #39			
	Antr #1		Antr #2		Antr #1		Antr #2		Antr #1		Antr #2		Antr #1		Antr #2	
	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.
MAL	α	α	α	α	54,3	56	53	58	α	α	α	α	51,7	50	50,7	50
MDH	25,4	24	22	22	31,5	31	28,8	32	27,7	26	27,6	27	22,6	20	22,1	22

Medida	Crânio #57				Crânio #65				Crânio #66				Crânio #67			
	Antr #1		Antr #2		Antr #1		Antr #2		Antr #1		Antr #2		Antr #1		Antr #2	
	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.
MAL	51,9	55	50,9	54	57,3	57	56,3	57	57,1	56	57,6	60	54	57	53,6	59
MDH	25,4	23	27	22	29,6	31	29,5	32	27,7	28	32,9	33	25,8	27	23,5	25

Medida	Crânio #21				Crânio #25				Crânio #38				Crânio #39			
	Antr #1		Antr #2		Antr #1		Antr #2		Antr #1		Antr #2		Antr #1		Antr #2	
	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.
OBB	39,8	40	39,6	38	44,1	47	42,6	43	43,1	45	42,4	42	40,4	43	40,7	40
OBH	31,8	34	32,2	31	35,3	35	34,9	33	39,5	39	36,6	36	30,9	32	29,4	29

Medida	Crânio #57				Crânio #65				Crânio #66				Crânio #67			
	Antr #1		Antr #2		Antr #1		Antr #2		Antr #1		Antr #2		Antr #1		Antr #2	
	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.	CraMs	M.T.
OBB	42,7	43	43	43	43,2	43	42,9	42	43,9	42	44,1	43	46,5	43	46,6	42
OBH	32,8	33	32,7	32	33,8	34	33,2	33	31,2	32	33	30	33,8	34	34,2	32