

**FMUC** FACULDADE DE MEDICINA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA



**Utilização do *Cone Beam CT* como Método Tridimensional de  
Análise de Marcas Dentárias**

**Catarina Caetano**

**Orientador: Prof. Doutora Ana Teresa Corte-Real**

**Co-orientador: Mestre Sónia Alves**

**Mestrado Integrado em Medicina Dentária**

**2013**



# Utilização do *Cone-beam CT* como Método Tridimensional de Análise de Marcas Dentárias

Catarina Caetano<sup>1</sup>; Sónia Alves<sup>2</sup>; Ana Corte-Real<sup>3</sup>

1 Aluna de Mestrado Integrado em Medicina Dentária da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

2 Mestre pela Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

3 Doutorada pela da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

Departamento de Medicina Dentária da Universidade de Coimbra

Av. Bissaya Barreto, Blocos de Celas

3000-075 Coimbra, Portugal

catarina\_caetano\_5@hotmail.com

## Abstract

**Background:** The methods of registration and analysis of bite marks have evolved through the technological advances. Nowadays, the evolution of those methods it's a priority.

The three-dimensional analysis of forensic evidence has become a highlighted procedure when compared to the traditional methods. This three-dimensional analysis is based on the registration of the surface of the bitten object.

**Objectives:** The authors propose the study of the surface and interior of bitten objects by cone beam computerized tomography, which is used in dental practice. We will study the possibility to apply cone beam computerized tomography to the three-dimensional analysis of bite marks in foodstuffs, which may be found in a forensic case scenario.

**Material and Methods:** There were used 8 different types of foodstuffs: chocolate, cheese, apple, chewing gum, pizza, tart (flaky pastry and custard), banana and strawberry. The food was bitten and dental casts of the hypothetical suspects were made.

Three-dimensional images of the dental casts and bitten objects were obtained using an x-ray source and the cone beam computerized tomography equipment iCAT<sup>®</sup> (Imaging Sciences International, Pennsylvania, EUA). The software InVivo5<sup>®</sup> (Anatomage Inc, EUA) was used to visualize the images, measure its radiopacity in Hounsfield Units (HU) and to do the analysis of the bitemarks in the tomographic cuts and three-dimensional reconstructions.

For the superimposition of the three-dimensional reconstructions of the foodstuffs and dental casts, the softwares InVivo5<sup>®</sup> and 3D Studio Max<sup>®</sup> were used.

**Results:** There were obtained DICOM images in axial, coronal and sagittal cuts from all the material in study. For each type of food a set of HU values was obtained, which varied between – 981 HU and +136 HU. The chocolate had the highest median radiopacity and pizza had the lowest. In all the foodstuffs the bitemark's contours could be identified and the metric analysis could be made. Individual characteristics such as the shape of the arch were able to be distinguished. The analysis was improved with the three-dimensional reconstruction of the bitemarks and the dental casts. The latter were successfully superimposed as a mean of direct comparison, allowing the identification of the bitters.

**Conclusion:** Cone beam computerized tomography is an accurate, scientific and reproducible mean for bite mark analysis. It showed to have the potential to be a valuable tool for bitemark analysis, and therefore, to the scientific forensic community.

**Keywords :** Cone Beam CT, Bitemarks, foodstuff, three-dimensional analysis

## **Sumário**

Introdução .....	6
Materiais e métodos .....	9
Resultados .....	11
Conclusão .....	20
Agradecimentos .....	21
Bibliografia .....	22
Anexos.....	25

## Introdução

As marcas dentárias podem ser encontradas na pele da vítima designando-se por mordidas, ou em objetos inanimados deixados na cena do crime denominando-se por mordeduras(1).

A análise de marcas dentárias humanas baseia-se em duas premissas(2-4): na individualidade da dentadura humana(3-6) dentro de uma população fechada(5) e na replicabilidade dessa individualidade no substrato alvo da mordedura(3,4,6,7).

Essa individualidade permite a identificação baseada numa comparação “dente-a-dente” e “arco-a-arco”, tendo em conta as características morfológicas de tamanho, forma e alinhamento dentário(8). Esta análise, essencialmente descritiva, fundamenta a divergência de opiniões e a ausência de consenso entre especialistas(9,10).

Surgiu assim, como alternativa ou complemento para a atribuição de exclusão ou probabilidade de identificação de um suspeito, a análise dos vestígios biológicos encontrados numa situação forense. Assim, a colheita de saliva e de células epiteliais dos lábios e mucosas de uma mordida ou mordedura são amostras para a análise genética. Esta análise é consensualmente considerada pela comunidade científica um método fiel(2), objectivo(11) e de resultado quantificável no estudo das marcas dentárias. Contudo, perante material genético degradado, contaminado ou em ínfimas quantidades, a genotipagem pode não ser possível(11), ou seja, não atribuir uma identificação positiva segundo os critérios internacionalmente aceites.

Tanto a mordedura, como a dentadura que a inflige são fenómenos tridimensionais(12). O registo bidimensional de estruturas tridimensionais implica distorção e perda de informação(2). Contudo, a maioria da comunidade científica descreve e quantifica os padrões de mordedura em duas dimensões(12). Page e colaboradores, em 2013, descrevem como técnicas de rotina para o registo de marcas dentárias, o decalque em papel de acetato ou digital, utilizando o Photoshop®, como alternativas ao método puramente descritivo(13). A mensuração de parâmetros dentários no registo, surge como complemento para corroborar as conclusões obtidas (13).

O desenvolvimento recente de metodologias tridimensionais revela-se um procedimento de destaque quando comparado com os referidos métodos tradicionais(4,7,9).

Em 2003, Thali e colaboradores destacaram um novo método por fotogrametria. Evans e colaboradores salientam que o método supracitado, embora validado em tribunal apresenta um equipamento muito dispendioso e um erro de distorção que pode atingir 1mm.(5)

Entretanto, em 2007, Martin-de las Heras e colaboradores, fizeram uso de um scanner tridimensional (Picza<sup>®</sup> 3D scanner) em conjunto com um software por eles desenvolvido (Dentalprint<sup>®</sup>), para a análise de marcas dentárias. O scanner supracitado tem por base a metodologia de contato, apresentando limitações devido ao reduzido número de eixos de registo, falta de mobilidade e tempo lento de captura(5).

Ainda em 2007, Blackwell e colaboradores apresentaram um estudo com um scanner a laser (ModelMaker H40<sup>®</sup>), em que não realizam a captura direta das marcas dentárias, implicando a sua impressão e realização de moldes(5). Nesta metodologia, é ainda necessário pulverizar a superfície dos moldes das mordeduras e dos modelos das arcadas dentárias com sprays anti-refletores, com a provável alteração das características da superfície. O tempo de realização do scan situa-se entre 15 e 30 minutos(12).

Em 2011, Evans e colaboradores simularam marcas dentárias em relação às quais testaram a estereofotogrametria (sistema MAVIS Nikon<sup>®</sup>) e o registo por um scanner a laser (Vivid 910), com o objetivo de capturar tridimensionalmente as pseudo-marcas dentárias e os modelos das arcadas dentárias. Os referidos autores conseguiram com o sistema MAVIS resultados satisfatórios para as pseudo-marcas dentárias; por outro lado, com o scanner Vivid 910<sup>®</sup> obtiveram resultados satisfatórios no registo dos modelos de gesso dos suspeitos. Estes concluíram que, para recolher toda a informação tridimensional necessária para a análise de marcas dentárias, era necessário recorrer aos dois sistemas em simultâneo(5,8). Além disso, o erro registado pelo sistema MAVIS é considerável: +/- 1mm(5).

Naether e colaboradores, em 2012, apresentam um novo método para a identificação de mordeduras. Este estudo utiliza um scanner ótico de superfície em que é necessário recorrer à colocação de sprays anti-refletores na superfície dos alimentos com para que os mesmos sejam *scaneados* com sucesso(2).

A tomografia computadorizada (CT) permite a reconstrução tridimensional(14). A técnica de CT utiliza uma fonte de radiação ionizante, o objeto e um detetor de imagem. A imagem final resulta da radiação absorvida por cada componente do objeto, numa escala de cinzentos(15).

A tomografia computadorizada de feixe cônico (*cone-beam CT*), criada especialmente para imagiologia das estruturas dento-maxilo-faciais, utiliza um aparelho de tomografia relativamente pequeno, com uma dose de radiação inferior (15 vezes) permitindo menores intervalos entre exposições e com menor custo comparativamente à *CT* tradicional (14,16–18). As imagens obtidas são em formato DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*), compatíveis com vários programas de análise. Estes programas de análise permitirão várias mensurações: lineares, áreas e ângulos(16).

A partir do registo de imagens tomográficas é possível obter imagens panorâmicas, cefalometrias e, podem ainda, efetuar-se reconstruções tridimensionais. A reconstrução tridimensional tem, nos nossos dias a sua aplicabilidade em implantologia, ortodontia e no diagnóstico e controlo de patologia temporo-mandibular(16,18).

Este trabalho tem como objetivo estudar a possibilidade de tomografar alimentos e modelos de gesso das arcadas dentárias através de *cone beam CT*, obtendo imagens para fins de análise tridimensional de marcas dentárias. Assim, pretendemos através da utilização do *cone beam CT* estudar, para além da superfície, o interior dos alimentos mordidos bem como dos modelos de gesso das arcadas dentárias. Para além disso propomo-nos identificar e analisar as marcas dentárias nos alimentos comparando as referidas imagens com os modelos das arcadas dentárias. Consideramos como objetivo final a sobreposição das reconstruções tridimensionais dos alimentos e modelos dos suspeitos.



## **Materiais e métodos**

Foram utilizados 8 tipos de alimentos de diferente composição: chocolate, queijo, maçã, pastilha elástica, fatia de pizza, pastel de nata, morango e banana.

Foram selecionados 9 indivíduos (suspeitos) do grupo de estudantes do Mestrado Integrado em Medicina Dentária da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, que participaram voluntariamente neste estudo. A cada aluno foram efetuadas impressões das arcadas dentárias superior e inferior, que se apresentavam completas, com alginato (Orthoprint® – orthodontic alginate, extra fast setting, high elastic). A partir destas, obtiveram-se modelos de estudo com gesso tipo III (Dental Hydrocal - Kerr®), de acordo com as guidelines da ABFO (American Board of Forensic Odontology)(19).

Foram escolhidos aleatoriamente 2 suspeitos, tendo cada um deles mordido uma maçã. Para cada um dos restantes alimentos foi selecionado apenas um suspeito.

Os alimentos mordidos foram fotografados com máquina Canon® 5D MarkII com régua ABFO nº2. Os alimentos e os modelos de gesso foram registados por tomografia computadorizada de feixe cónico (*cone beam CT*) com o aparelho i-CAT® (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA).

Este aparelho utiliza uma quilovoltagem e miliamperagem pré-determinadas pelo fabricante e uma exposição pulsada a raios-X(20). Foi utilizado um campo de visão 16cm de diâmetro e 6cm de altura. Os alimentos e os modelos de gesso foram tomografados com uma espessura de corte de 0,2 voxel e tempo de exposição de 14,7 segundos, obtendo-se imagens tomográficas em formato DICOM.

As características de uma imagem tomográfica são: o nº de pixéis, a matriz, o campo de visão, a escala de cinzas, a espessura de corte e as janelas. Os pixéis distribuídos em colunas e linhas definem uma matriz. Uma determinada quantidade de pixéis formam a imagem. Quanto maior o número de pixéis numa matriz, maior a diferenciação espacial entre as estruturas do objeto. O campo de visão designa a profundidade da imagem. A escala de cinzas representa a maior ou menor absorção de Rx pelo objeto, sendo a sua unidade designada por Hounsfield (HU). Quanto menores os valores HU, menor é a atenuação da radiação e mais escuro surge o objeto. Por exemplo, o ar apresenta uma radiodensidade de -1000 HU a água de 0 (zero) HU. Em relação à espessura de corte, designa-se por voxel a menor unidade na espessura de corte e, quanto menor este for, mais precisa será a imagem. As janelas são manobras computadorizadas para a melhor diferenciação dos componentes do objeto. As imagens tomográficas podem ser visualizadas

em três planos diferentes, axial, coronal e sagital. Estes três planos permitem uma perceção espacial e detalhe em pormenor. (14,17,20–22)

As imagens tomográficas obtidas foram analisadas com o software Invivo5<sup>®</sup> (Anatomage Inc, EUA). Efetuaram-se as medições da radiopacidade dos alimentos, em unidades de Hounsfield (HU). Para todos alimentos foram efetuadas 6 medições em 6 pontos diferentes. Calculou-se a mediana, desvio padrão e valores máximos e mínimos de radiodensidade.

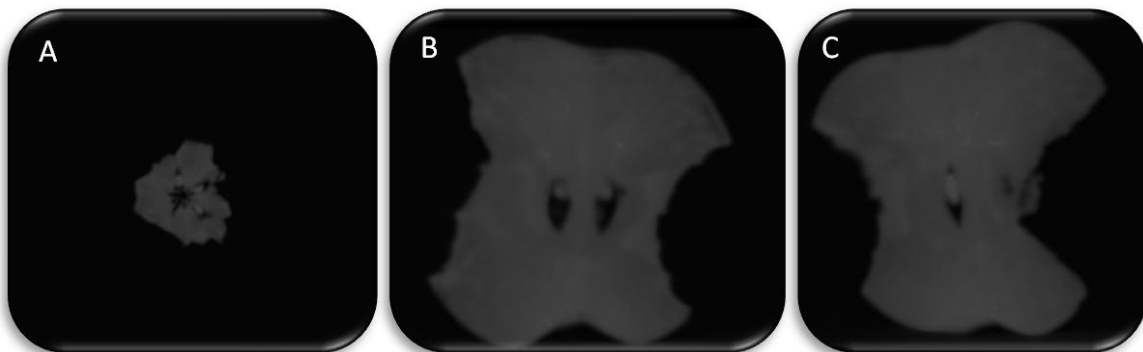
Realizou-se a análise métrica dos alimentos mordidos e dos modelos de estudo tanto através dos cortes tomográficos, como das reconstruções tridimensionais, medindo-se os diâmetros mesio-distais e as distâncias intercaninas dos dentes presentes na mordedura. A profundidade da mordedura foi também estudada, medindo-se a distância percorrida pelos bordos incisais desde o início até à zona de arrancamento da mordedura.

A sobreposição das reconstruções tridimensionais dos modelos de estudo das arcadas dentárias e dos alimentos foram realizadas com os softwares Invivo5<sup>®</sup> e 3D Studio Max<sup>®</sup>.

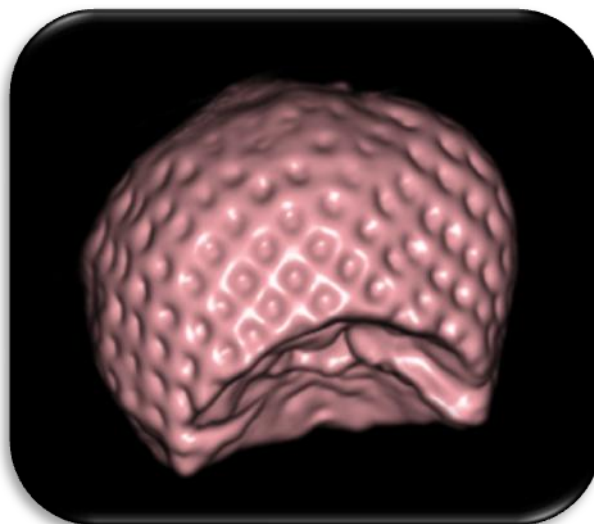
Analisaram-se tomografias de feixe-cónico da consulta de Traumatologia Orofacial da Área de Medicina Dentária da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra. Seleccionaram 2 doentes, cujos registos tomográficos apresentavam a arcada superior completa e dos quais se obteve o consentimento informado para este estudo. Analisou-se a possibilidade de utilizar os registos tomográficos dos doentes para sobreposição com as reconstruções tridimensionais dos alimentos.

## Resultados

Todos os alimentos e modelos de gesso das arcadas dentárias foram tomografados com sucesso. Obtiveram-se imagens em formato DICOM correspondentes a cortes axiais, sagitais e coronais, a partir dos quais se conseguiram realizar as reconstruções tridimensionais dos objetos. Tanto para a visualização por cortes tomográficos como para as reconstruções tridimensionais conseguiram-se obter imagens com boa definição (figs. 1 e 2).



**Figuras 1 (A, B e C)** – Visualização de uma das maçãs por cortes tomográficos. Em **A**, Corte axial; em **B**, Corte sagital e em **C** Corte coronal



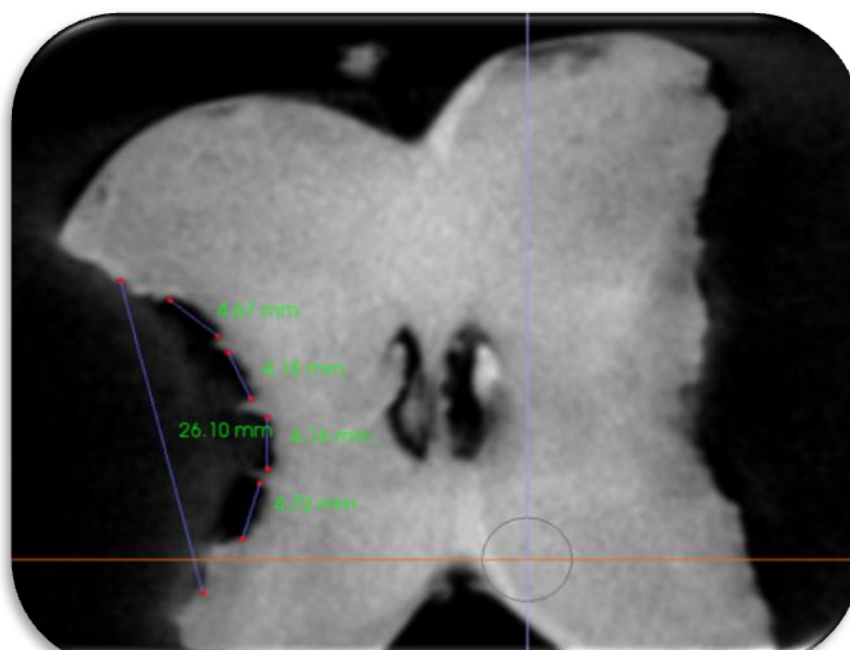
**Figura 2** – Reconstrução tridimensional do morango.

Para cada tipo de alimento obtiveram-se os valores de radiodensidade, que variaram entre -981 HU e + 136 HU, sendo o menor valor mediano atribuído à pizza (-775,5 HU) e o maior ao chocolate (+100,5 HU) (tab. 1).

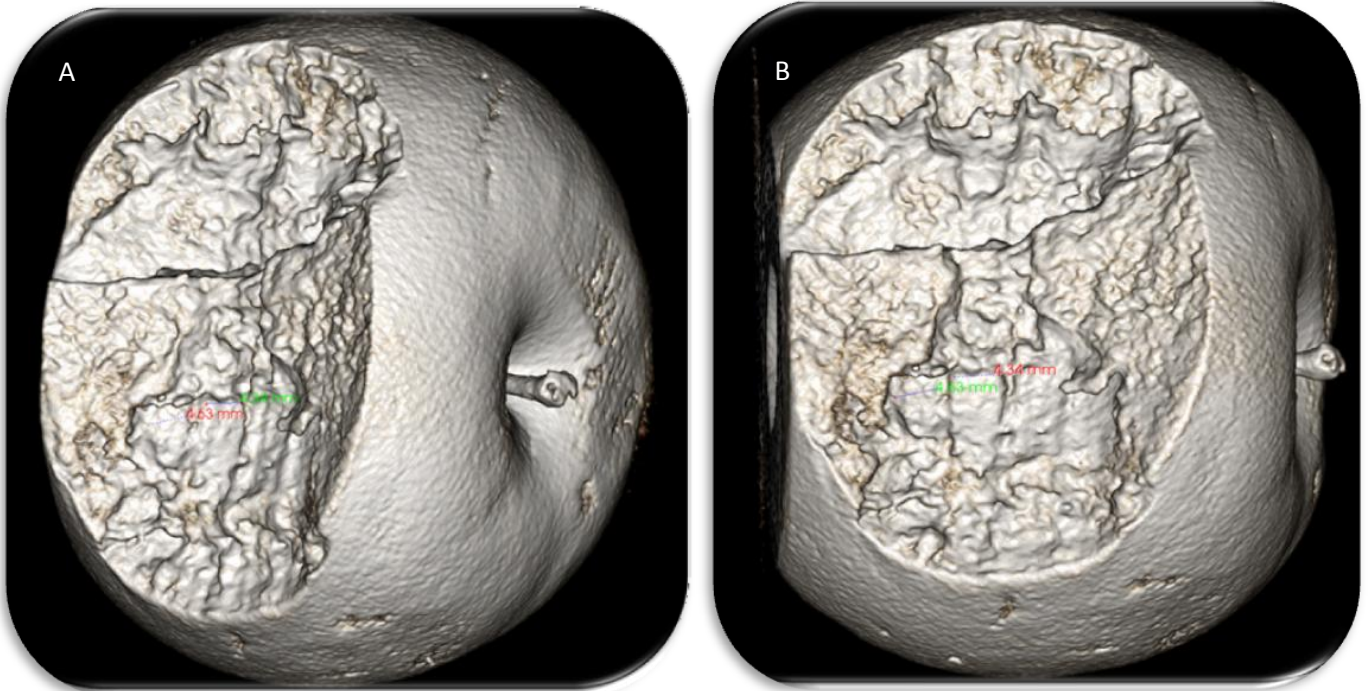
**Tabela 1** – Valores de Radiodensidade (HU) dos alimentos.

	<b>Mediana</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>Maçã</b>	-282,5	47,2	-222	-356
<b>Queijo</b>	-186	45,5	-62	-186
<b>Pizza</b>	-775,5	418,1	-44	-981
<b>Chocolate</b>	100,5	31,4	136	52
<b>Pastel de Nata</b>	-10,5	186,1	105	-380
<b>Pastilha Elástica</b>	-180,5	37,9	-140	-250
<b>Banana</b>	-89	59,2	-39	-177
<b>Morango</b>	-170,5	54,9	-116	-275

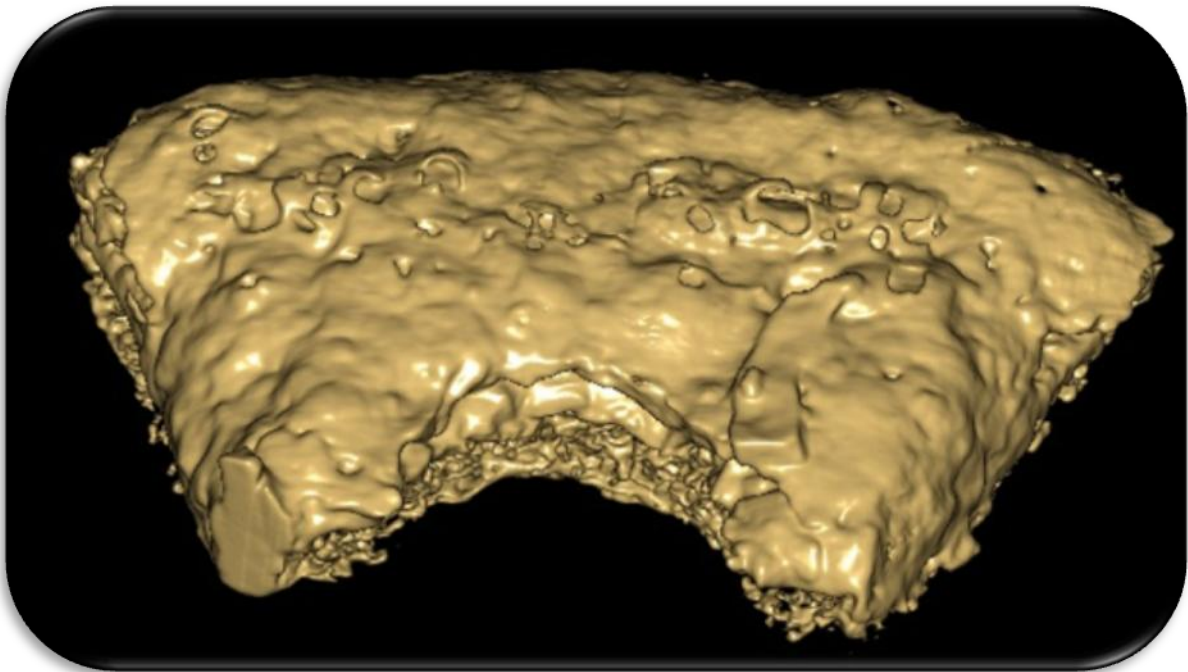
Em todos os alimentos foi possível tanto através dos cortes tomográficos, como das reconstruções tridimensionais, distinguir as arcadas dentárias superior e inferior e identificar os dentes envolvidos na mordedura. Consideramos que, nos diferentes alimentos da nossa amostra, foi possível medir os diâmetros mesio-distais e distâncias intercaninas (figs. 3 e 4), exeto na pizza (fig. 5). Foi também possível discernir características individualizantes como a forma do arco, apinhamento ou diastemas (fig. 6). O queijo, o chocolate, a pastilha elástica, a maçã e a banana foram os alimentos que mostraram ter melhores propriedades para o registo das marcas dentárias, enquanto que a pizza foi o alimento que registou estas marcas de forma menos fidedigna.



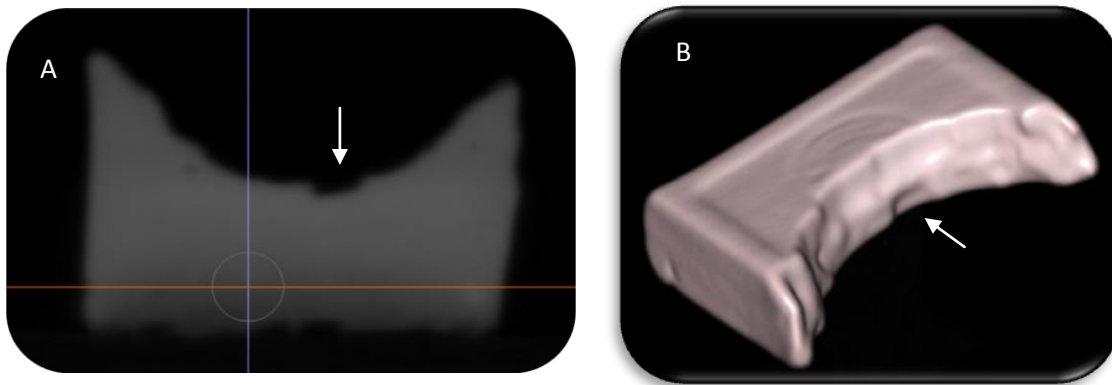
**Figura 3** – Análise métrica em corte tomográfico de uma das maçãs.



**Figuras 4 (A e B)** – Medição dos diâmetros mesio-distais dos dentes 31 e 32 na reconstrução tridimensional de uma das maçãs. **A** e **B** correspondem a diferentes orientações espaciais das mesmas mensurações.

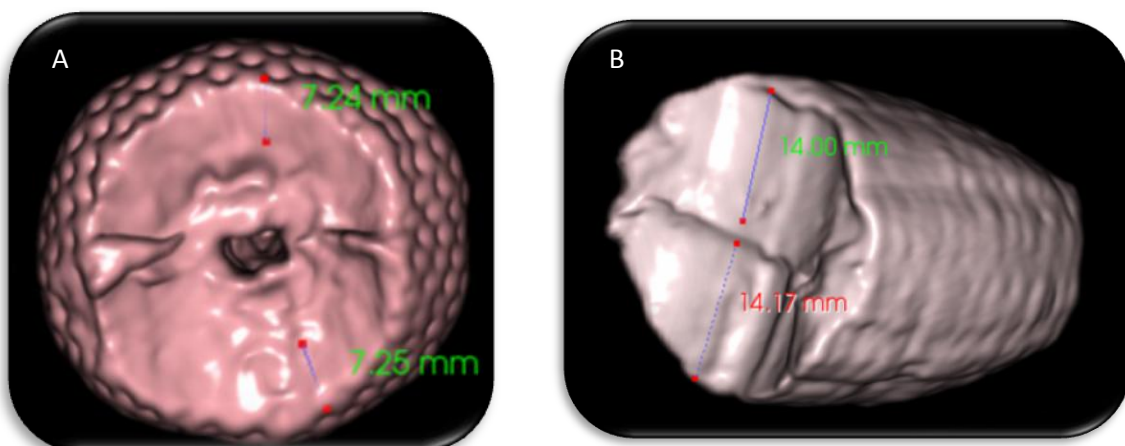


**Figura 5** – Reconstrução tridimensional da pizza



**Figura 6** – Imagens de registos tomográficos. Em **A**, corte coronal e em **B** reconstrução tridimensional do chocolate. Salienta-se o apinhamento na arcada inferior, com vestibulo-versão do dente 41 (seta).

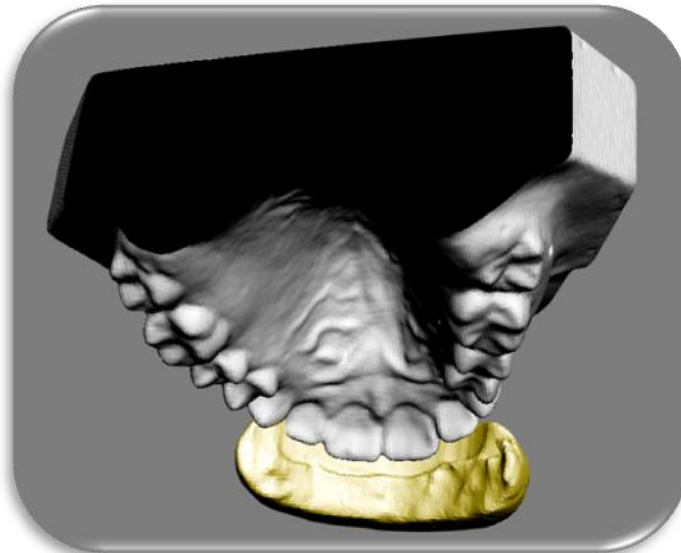
Realizou-se a análise da profundidade da mordedura para cada alimento, exeto na pizza, comparando as profundidades relativas entre a arcada superior e inferior (fig. 7). Verificou-se que no pastel de nata e no queijo e na pastilha elástica, a profundidade da mordedura era maior na arcada superior, enquanto na maçã e no chocolate a profundidade era maior para a arcada inferior. Na banana e no morango, as profundidades de mordedura eram aproximadamente idênticas para ambas as arcadas.



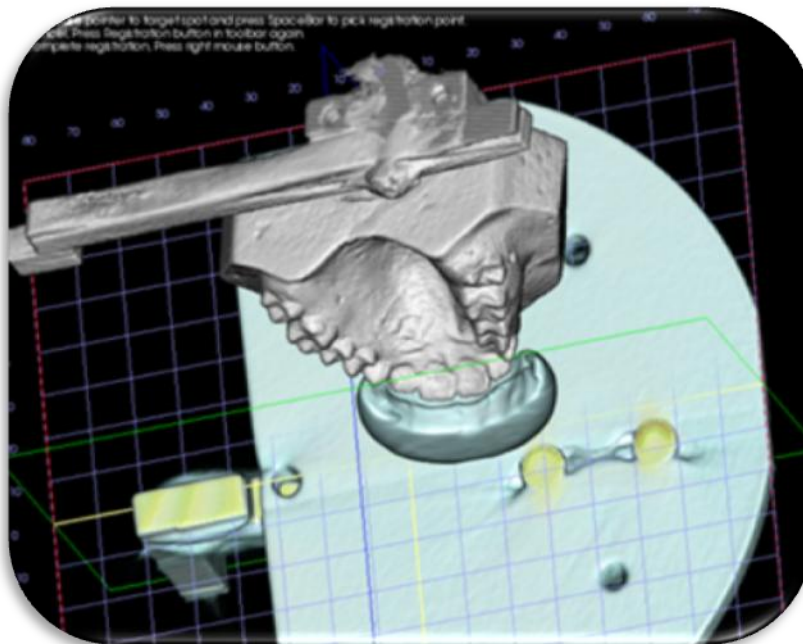
**Figuras 7 (A e B)** – Mensuração da profundidade da mordedura de cada uma das arcadas dentárias na reconstrução tridimensional do morango (**A**) e da banana (**B**).

Conseguiu-se realizar a sobreposição das reconstruções tridimensionais dos alimentos e modelos de gesso das arcadas dentárias, de modo a realizar uma comparação direta entre os mesmos (Figuras 8 e 9). Após a comparação de cada mordedura com os vários modelos de gesso, considerando que os autores das mordeduras se encontravam dentro do círculo fechado dos suspeitos, para todos os alimentos foi possível identificar o autor.





**Figura 8** – Sobreposição das reconstruções tridimensionais de um alimento (queijo) e do modelo da arcada superior de um suspeito através do software 3D Studio Max<sup>®</sup>.



**Figura 9** – Sobreposição das reconstruções tridimensionais de um alimento (queijo) e do modelo da arcada superior de um suspeito através do software Invivo5<sup>®</sup>.

Foi possível realizar a sobreposição dos registos por *cone beam CT* dos doentes com as maçãs mordidas pelos alunos voluntários, sendo claro que não existia correspondência entre as mesmas.

## Discussão

O ato da mordedura é um processo dinâmico. A pele apresenta características biomecânicas variáveis consoante a localização anatómica e a etapa de reparação tecidual(2). As mordidas apresentam-se frequentemente sob a forma de contusão(8,23), o que torna difícil a deteção de características individualizantes(23,24). Assim, a análise das marcas de mordida na pele encontra-se dificultada(2). Em alimentos, estas variantes não se encontram normalmente presentes(2), e as marcas dentárias encontram-se sob a forma de indentações. Segundo Verma e colaboradores, podemos considerar que as marcas dentárias em alimentos tendem a ser mais distintivas que as encontradas na pele. Às mordeduras atribui-se um contributo pericial importante na investigação forense(2).

Os alimentos selecionados para este estudo correspondem a alguns dos alimentos frequentemente encontrados em situações forenses reais, salientando a maçã, a pastilha elástica e o queijo (25–29).

Neste estudo, através do *cone beam CT* foi possível realizar uma análise tridimensional de mordeduras. Consideramos que a terceira dimensão é muito importante nesta análise (2,4,7,12,25), uma vez que as marcas dentárias registadas neste tipo de substrato não podem ser reduzidas a duas dimensões sem a perda de informação(2).

Segundo Pretty, o método de análise de mordeduras varia consoante o substrato. Por exemplo em alimentos como o queijo, chocolate ou maçã é realizada a impressão da mordedura e o correspondente molde de gesso, que é comparado diretamente com os modelos das arcadas dentárias, verificando-se a sua correspondência(1,26,30). O estudo do traçado das marcas dentárias numa superfície plana pode ser realizado pela sobreposição com o traçado dos contornos dentários do modelo do suspeito. Por outro lado o decalque do modelos das arcadas dentárias pode ser estudado em relação às marcas dentárias obtidas a partir fotografia do objecto mordido(1,26,30).

Comparativamente com os métodos tradicionais de impressão, o método por nós utilizado permite fazer o registo das marcas dentárias, essencialmente em alimentos em que não é viável a utilização de materiais de impressão(27,32), como por exemplo o pastel de nata ou a pastilha elástica. Consideramos ainda que a radiação utilizada não é um fator de degradação do material genético pelo que não inviabiliza a colheita de material biológico do agressor ou suspeito para a sua genotipagem.

Em relação aos métodos fotográficos(18), acrescentámos um terceiro plano, permitindo a visualização fidedigna da reconstrução tridimensional do objeto, a partir do registo da sua



superfície, bem como do seu interior. A metodologia por nós utilizada permite o correto registo de toda a superfície da mordedura, contornando o problema da distorção inerente ao registo fotográfico(33) e permite ainda, pela visualização da superfície e interior do objeto, uma análise rigorosa e esclarecedora da profundidade da marca dentária. Segundo Blackwell e colaboradores, ao eliminar o problema da distorção angular, a captura de imagens com métodos tridimensionais, pode constituir uma prova de extrema robustez em tribunal.

Apesar da evidente necessidade de captura tridimensional, tanto das marcas dentárias como da dentatura, poucos métodos foram desenvolvidos até à data(4,7,25). A estereofotogrametria e o *scan* de um volume em três dimensões, por contato ou por leitura ótica, surge como complemento para o registo bi-dimensional(4,5,7,34).

Consideramos que, face aos reduzidos e deficientes métodos de registo para a reconstrução tridimensional, a nossa metodologia permitiu contornar importantes lacunas. Com o *cone beam CT* foi possível a aquisição de dados, análise e visualização, por cortes e correspondentes reconstruções tridimensionais, tanto das marcas dentárias nos alimentos como dos modelos das arcadas dentárias dos suspeitos. Assim, conseguiu-se eliminar a necessidade de impressão da mordedura possibilitando a reconstrução tridimensional, essencialmente, em objetos onde não é possível realizar impressão. Além disso, é utilizado um mesmo método de registo para as mordeduras e para os modelos de gesso, o qual mostrou reproduzir fielmente evidência pericial, não alterando as características das superfícies. O *cone beam CT* consegue obter imagens de boa qualidade, mesmo em alimentos mais deformáveis e menos rígidos como o pastel de nata e, ao contrário de scanners de menores dimensões, consegue capturar volumes de dimensões consideráveis. Num estudo sobre o aparelho i-Cat<sup>®</sup>, Ballrick e colaboradores verificaram que a distorção deste equipamento é inferior a 0,1mm, sendo esta clinicamente insignificante(34), comparativamente com os valores obtidos por Thali e seus colaboradores e Evans e seus colaboradores.

Neste estudo, para a aquisição das imagens seleccionou-se o menor valor de voxel disponível e um tempo de aquisição longo (14,7 segundos) uma vez que, tal como confirmou Ballrick para o aparelho i-Cat, a resolução espacial diminui quando se realizam menores tempos de exposição e maiores voxel (34). Após a exposição à radiação X com *Cone Beam CT* pode ser efetuado o arquivo de séries de imagens DICOM correspondentes aos cortes tomográficos. Estes ficheiros universais de informação podem ser manipulados em diversos programas, por diferentes utilizadores, facilitando a troca de informação entre profissionais peritos. **Nos cortes tomográficos foi estudada a radiopacidade dos diferentes alimentos**

atribuindo-se um valores em unidades HU. Analisaram-se os valores atribuídos, permitindo comparar os alimentos relativamente à água(0 HU) e ao ar(-1000 HU). Os intervalos de HU obtidos para cada tipo de substrato podem ser explicados em função da sua composição: quanto mais heterogéneo e menos compacto o substrato, maior o intervalo de HU. O chocolate, o mais radiopaco (100,5 HU), corresponde a uma imagem bem definida; a pizza (-775,5 HU), a menos radiopaca, corresponde uma imagem menos bem definida.

Tanto para os modelos de gesso das arcadas dentárias como para os alimentos, foram efetuadas com sucesso as suas representações tridimensionais com boa definição de imagem.

Com este método é possível através das imagens dos planos axiais, sagitais e coronais em cortes de 0,2 em 0,2mm efetuar as correspondentes reconstruções tridimensionais, permitindo a interpretação do objeto em qualquer posição do espaço.

De acordo com Naether e colaboradores, verificámos, similarmente, que os alimentos têm uma grande capacidade de reproduzir as características dentárias, sendo que alguns deles registam de forma exata os diâmetros mesio-distais dos dentes(26), destacando entre eles a maçã. Pelo contrário, a pizza foi o alimento que fez o pior registo das características da dentadura. Ainda assim, para todos os alimentos, foi possível a identificação dos dentes envolvidos no ato de morder, com a distinção entre as arcadas dentárias, superior e inferior, bem como a visualização de caraterísticas individualizantes como diastemas ou apinhamento dentário, quando estas existiam.

Através dos cortes axiais, coronais e sagitais e da representação tridimensional foi possível a análise da profundidade da mordedura. Segundo Bernitz e colaboradores, a profundidade da mordedura é superior nos dentes inferiores(35), devido ao movimento de rotação da mandíbula sobre o eixo condilar(2). Isto verificou-se principalmente na maçã, mas também no chocolate. Em oposição, no pastel de nata, no queijo e na pastilha elástica, a profundidade da mordedura foi superior para a arcada superior. No pastel de nata, a maior profundidade de mordedura para a arcada superior pode ser explicado pela diferença de consistências e volume entre o recheio e a massa: quando os dentes da arcada inferior entram em contato com a base deste alimento, estes empurram o recheio contra a arcada superior fazendo com que estes fiquem registados em maior profundidade. Assim, os dentes inferiores apenas conseguem realizar o corte no final do movimento, quando encontram a pressão da arcada antagonista. O queijo e pastilha elástica, apesar de terem uma composição homogénea, têm uma consistência pouco firme e um comportamento plástico, alterando a sua volumetria durante e após a mordedura.

No universo da nossa amostragem, em todos os casos foi possível identificar positivamente o suspeito responsável pela mordedura no alimento.

A sobreposição mostrou ser uma ferramenta útil para a comparação direta dos alimentos mordidos com as reconstruções tridimensionais das arcadas dentárias dos suspeitos, quer os registos tomográficos tenham sido obtidos a partir dos modelos de gesso ou diretamente das arcadas dentárias *in vivo*. Sendo a tomografia computadorizada um procedimento clínico, consideramos a possibilidade dos registos tomográficos serem utilizados como uma base de dados, com a informação das características das arcadas dentárias dos indivíduos, com maior importância forense nas situações onde não existe identificação de suspeitos. Uma vez que os registos tomográficos são realizados em relação cêntrica, a informação acrescida é esclarecedora no mecanismo da mordedura executado em substratos de pequenas dimensões. Contudo, o contato entre os dentes superiores e inferiores, nesta posição, dificulta a caracterização de todos os parâmetros da mordedura observáveis e mensuráveis quando trabalhamos com os modelos em separado.

Segundo Clement e Blackwell, o que se procura atualmente como evidência pericial científica em tribunais, são metodologias quantitativas e validadas em detrimento de metodologias descritivas. Destacamos a possibilidade do nosso método permitir uma análise quantitativa dos dados obtidos do objeto mordido e do modelo do suspeito, considerando a mesma metodologia de registo e de mensuração. A nossa metodologia permite a reprodutibilidade de registos em análises independentes e a evidência forense é estudada por um método científico, comparativamente com métodos qualitativos(10).

O *cone beam CT* é um equipamento não-específico para a análise de marcas de mordida com uma vasta aplicabilidade na medicina dentária. Referimos porém, que embora o *cone beam CT* seja mais barato que a *CT* convencional, este continua a ser um aparelho dispendioso.

Consideramos que este estudo pode ser melhorado com uma maior amostragem, por forma a calcular a sensibilidade e especificidade deste método estabelecendo, eventualmente, um *cut-off* que nos permita determinar a probabilidade de um indivíduo ser o autor de uma determinada mordedura.

## **Conclusão**

Relativamente aos objetivos propostos neste trabalho poderemos afirmar que:

1. A tomografia computadorizada de feixe cónico é um meio preciso, científico e reprodutível de análise de marcas dentárias em alimentos.
2. Este método permite a reconstrução e análise tridimensional do substrato da mordedura e dos modelos de gesso do suspeito, bem como a sua sobreposição.
3. Foi ainda possível a utilização de registos tomográficos de doentes da consulta de traumatologia orofacial para a análise por sobreposição com os alimentos mordidos.
4. Este método demonstrou ter potencial para se tornar uma ferramenta de valor pericial na análise de mordeduras e, portanto, para a comunidade científica forense.

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer à minha orientadora, Professora Doutora Ana Teresa Corte-Real, pela simpatia, disponibilidade, incentivo e pelos valiosíssimos ensinamentos que me transmitiu ao longo deste trabalho.

À minha co-orientadora, Mestre Sónia Alves, pelo seu apoio, simpatia, compreensão, disponibilidade e partilha de conhecimentos.

À Unidade Curricular de Imagiologia, na pessoa do Sr. Prof. Doutor José Pedro Figueiredo, por nos ter proporcionado o acesso ao equipamento do *cone beam CT*.

Aos técnicos de Imagiologia, pela disponibilidade e tempo despendidos.

Ao Dr. Jeidson Marques, pela oportunidade em participar no seu estudo.

Ao Laboratório de Medicina Dentária Forense, pelo apoio técnico-científico.

À consulta de Traumatologia da Área de Medicina dentária da Universidade de Coimbra, pelo material disponibilizado.

E, finalmente, aos meus colegas pela ajuda e pronta disponibilidade em colaborar neste estudo, especialmente à Sofia Laranjo e Lucas Pedrosa.

## Bibliografia

1. Stavrianos C, Vasiliadis L, Emmanouil J, Papadopoul C. In vivo Evaluation of the Accuracy of Two Methods for the Bite Mark Analysis in Foodstuff. *Research Journal of Medical Sciences*. 2011 Jan 1;5(1):25–31.
2. Naether S, Buck U, Campana L, Breitbeck R, Thali M. The examination and identification of bite marks in foods using 3D scanning and 3D comparison methods. *International journal of legal medicine*. 2012 Jan;126(1):89–95.
3. Pretty I a. The barriers to achieving an evidence base for bitemark analysis. *Forensic science international*. 2006 May 15;159 Suppl:S110–20.
4. Martin-de las Heras S, Valenzuela A, Torres JC, Luna-del-castillo JD. Effectiveness of Comparison Overlays Generated with DentalPrint r Software in Bite. *J Forensic Sci*. 2007;52(1):5–10.
5. Evans ST, Jones C, Plassmann P. 3D imaging for bite mark analysis. *The Imaging Science Journal*. 2011;000(0):1–10.
6. Rajshekar M, Kruger E, Tennant M. Bite-Marks : Understanding the role of general practitioners in forensic identification. *J. Int Oral Health*. 2012;4(2):1–8.
7. Martin-de las Heras S, Valenzuela A, Ogayar C, Valverde J, Torres JC. Computer-Based Production of Comparison Overlays from 3D-Scanned Dental Casts for Bite Mark Analysis. *Journal of forensic sciences*. 2005;50(1):1–7.
8. Evans S, Jones C, Plassmann P. 3D imaging in forensic odontology. *Journal of visual communication in medicine*. 2010 Jun 16;33(2):63–8.
9. Clement JG, Blackwell S. Is current bite mark analysis a misnomer? *Forensic science international*. Elsevier Ireland Ltd; 2010 Sep 10;201(1-3):33–7.
10. Pretty I a, Sweet D. A paradigm shift in the analysis of bitemarks. *Forensic science international*. Elsevier Ireland Ltd; 2010 Sep 10;201(1-3):38–44.
11. Pretty I a, Sweet D. The scientific basis for human bitemark analyses--a critical review. *Science & justice : journal of the Forensic Science Society*. 2001;41(2):85–92.
12. Blackwell S a, Taylor R V, Gordon I, Ogleby CL, Tanijiri T, Yoshino M, et al. 3-D imaging and quantitative comparison of human dentitions and simulated bite marks. *International journal of legal medicine*. 2007 Jan;121(1):9–17.
13. Page M, Taylor J, Blenkin M. Expert Interpretation of Bitemark Injuries — A Contemporary Qualitative Study. *Journal of forensic sciences*. 2013;58(3):664–72.
14. Cattaneo PM, Bloch CB, Calmar D, Hjortshøj M, Melsen B. Comparison between conventional and cone-beam computed tomography-generated cephalograms. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. American Association of Orthodontists; 2008 Dec;134(6):798–802.

15. Miles D, Danforth R. A Clinician ' s Guide to Understanding Cone Beam Volumetric Imaging ( CBVI ). Peer-Reviewed Publication - Academy of Dental Therapeutics and Stomatology. 2008;
16. Harris D, Horner K, Gröndahl K, Jacobs R, Helmrot E, Benic GI, et al. E.A.O. guidelines for the use of diagnostic imaging in implant dentistry 2011. A consensus workshop organized by the European Association for Osseointegration at the Medical University of Warsaw. *Clinical oral implants research*. 2012 Nov;23(11):1243–53.
17. Garib DG, Raymundo Jr R, Raymundo MV. Tomografia computadorizada de feixe cônico ( Cone beam ): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na Ortodontia. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial*. 2007;12(2):139–56.
18. Davies J, Johnson B, Grage N. Effective doses from cone beam CT investigation of the jaws. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2012;41:30–6.
19. American Board of Forensic Odontology Diplomates Reference Manual American Board of Forensic. 2013;(January).
20. Lofthag-Hansen S. Cone beam computed tomography radiation dose and image quality assessments. *Swedish dental journal*. Supplement. 2009. p. 4–55.
21. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc*. 2006;72(1):75–80.
22. Farrel W. Computerized axial tomography as an aid in bitemark analysis: a case report. *J Forensic Sci*. 1987;32:266–72.
23. Verma K, Joshi B, Joshi CH, Mp RP. Bite Marks as Physical Evidence from the Crime Scene-An Overview. *Open Access Scientific Reports*. 2013;2(1):1–6.
24. Martin-de-Las-Heras S, Tafur D. Validity of a dichotomous expert response in bitemark analysis using 3-D technology. *Science & justice : journal of the Forensic Science Society*. Forensic Science Society; 2011 Mar;51(1):24–7.
25. Martin-de-las-Heras S, Tafur D. Comparison of simulated human dermal bitemarks possessing three-dimensional attributes to suspected biters using a proprietary three-dimensional comparison. *Forensic science international*. 2009 Sep 10;190(1-3):33–7.
26. Bhargava K, Bhargava D, Rastogi P, Paul M, Paul R, Jagadeesh HG. An Overview of Bite mark Analysis. *J Indian Acad Forensic Med*. 2012;34(1):61–6.
27. Oliveira D, Simões P, Marques J, Galvão L, Oliveira R, Musse J. Avaliação de marcas de mordidas em alimentos produzidas por próteses dentárias. 2010;46:38–42.
28. Lasser A, Warnick J, Berman G. Three-Dimensional Comparative Analysis of Bitemarks. *J Forensic Sci*. 2009;54(3):658–61.
29. Bernitz H, Kloppers B. Comparison microscope identification of a cheese bitemark: a case report. *J Forensic Odontostomatol*. 2002;20(1):13–6.

30. Pretty I a. Forensic dentistry: 2. Bitemarks and bite injuries. Dental update. 2008;35(1):48–50, 53–4, 57–8 passim.
31. Thali MJ, Braun M, Markwalder TH, Brueschweiler W, Zollinger U, Malik NJ, et al. Bite mark documentation and analysis: the forensic 3D/CAD supported photogrammetry approach. Forensic Science International. 2003. 135 (2): p. 115–21
32. Marques J, Galvão L. Marcas de mordidas. Feira de Santana: Universidade Estadual Feira de Santana. 2007;ISBN.
33. Wright F, Golden G. The use of full spectrum digital photography for evidence collection and preservation in cases involving forensic odontology. Forensic Science International. 2010;201:59–67.
34. Ballrick JW, Palomo JM, Ruch E, Amberman BD, Hans MG. Image distortion and spatial resolution of a commercially available cone-beam computed tomography machine. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics. 2008 Oct;134(4):573–82.
35. Bernitz H, Stols G. The application of affine transformations in matching distorted forensic samples with a common origin. Forensic science international. 2010;201:56–8.



## Anexos

### **Termo de consentimento livre e esclarecido do(a) participante(a) Ensaio Clínico (Lei nº.46/2004 de 19 de Agosto)**

Estamos a convidá-lo a participar do estudo intitulado **Utilização de tomografia computadorizada de feixe cónico como método tridimensional de análise de marcas de mordida em alimentos**. Os objectivos gerais deste estudo consistem em estudar, através da tomografia computadorizada de feixe cónico (cone beam CT), a superfície e o interior de alimentos mordidos, analisar as marcas dentárias nos referidos alimentos e compará-las com os modelos das arcadas dentárias.

A análise de mordeduras/mordidas pode ser definida como a deteção, reconhecimento e comparação de marcas dentárias presentes em seres vivos e objetos inanimados[1]. Esta análise pode ser utilizada como complemento na identificação do suspeito [2].

A análise tri-dimensional deste tipo de evidência forense tem ganho destaque face aos métodos tradicionais, de decalque e fotografia. A tomografia computadorizada (TC) é um método de reconstrução tridimensional que utiliza uma fonte de radiação ionizante (raios X), o objeto e um detetor de imagem. A CBCT utiliza um aparelho de tomografia relativamente pequeno e uma dose de radiação inferior comparativamente à TC tradicional [3,4].

A metodologia utilizada neste estudo consiste na análise de 6 tipos diferentes de alimentos (chocolate, queijo, maçã, pastilha elástica, fatia de pizza e pastel de nata). Aos indivíduos voluntários (suspeitos) serão efetuadas impressões das arcadas dentárias, superior e inferior, com alginato, a partir das quais se realizarão modelos de estudo em gesso. Os suspeitos terão também de efectuar mordeduras aos alimentos que lhe forem atribuídos.

Os alimentos serão fotografados. Os alimentos e os modelos de gesso serão tomografados com CBCT e posteriormente analisados.

O sigilo da sua identidade será preservado em qualquer situação. Caso aceite, a sua participação não apresenta riscos.

As informações fornecidas serão confidenciais e de conhecimento apenas dos pesquisadores responsáveis. Os participantes deste estudo não serão identificados em nenhum momento, mesmo quando os resultados desta pesquisa forem divulgados.

A sua participação nesta pesquisa é voluntária, não havendo qualquer tipo de pagamento ou ônus referente a ela. Poderá se retirar desta pesquisa a qualquer momento, inclusive vetando a utilização dos modelos de estudo e alimentos mordidos, sem que sofra nenhuma penalização.

Os pesquisadores comprometem-se a informar sobre o andamento do trabalho sempre que solicitado, independentemente de continuar ou não a colaborar com o estudo.

Após ler estas informações e de ter minhas dúvidas suficientemente esclarecidas, concordo em participar de forma voluntária neste estudo.

Ser-me-á entregue uma cópia deste consentimento.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

---

(nome por extenso do participante)

---

(assinatura do participante)

Caso tenha dúvidas sobre aspectos metodológicos da pesquisa, favor entrar em contato com o responsável Prof. Doutora Ana Corte-Real pelo email [a.corte.rea4@gmail.com](mailto:a.corte.rea4@gmail.com).

Referências dos estudos supracitados:

1. Pretty, I. a, & Sweet, D. (2010). A paradigm shift in the analysis of bitemarks. *Forensic science international*, 201(1-3), 38–44. doi:10.1016/j.forsciint.2010.04.004
2. Verma, K., Joshi, B., Joshi, C. H., & Mp, R. P. (2013). Bite Marks as Physical Evidence from the Crime Scene-An Overview. *Open Access Scientific Reports*, 2(1), 1–6. doi:10.4172/scientificreports.60.
3. Garib, D. G., Jr, R. R., & Raymundo, M. V. (2007). Tomografia computadorizada de feixe cônico ( Cone beam ): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na Ortodontia. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial*, 12(2), 139–156.
4. Cattaneo, P. M., Bloch, C. B., Calmar, D., Hjortshøj, M., & Melsen, B. (2008). Comparison between conventional and cone-beam computed tomography-generated cephalograms. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 134(6), 798–802. doi:10.1016/j.ajodo.2008.07.008

**Resumo Submetido para apresentação oral no congresso IOFOS 2013 International Congress (Firenze, Italy)**

**Title:** Analysis of bitemarks in foodstuff by computerized tomography (Cone Beam CT) - 3D reconstruction

**Autors:** Jeidson Marques<sup>1,2</sup>, Jamilly Musse<sup>1,2</sup>, Catarina Caetano<sup>2</sup>, Francisco Corte-Real<sup>2,3,4</sup>, José Pedro Figueiredo<sup>2</sup>, Ana Teresa Corte-Real<sup>2,3</sup>

1 State University of Feira de Santana, Brazil

2 Faculty of Medicine University of Coimbra, Portugal

3 Center for Forensic Studies, Foundation for Science and Technology, Portugal

4 National Institute of Legal Medicine and Forensic Science, I.P.

[a.corte.real4@gmail.com](mailto:a.corte.real4@gmail.com)

**Abstract**

**Background:** The methods of registration and analysis of bite marks have evolved through the technological advances. Nowadays, the evolution of those methods it's a priority.

The tridimensional analysis of forensic evidence has become a highlighted procedure when compared to the traditional methods. This tridimensional analysis is based on the registration of the surface of the bitten object.

The authors propose the study of the surface and interior of the bitten object by cone beam computerized tomography (CB-CT), which is used in dental practice. In this study, CB-CT is applied to the analysis of bite marks in foodstuffs, which may be found in a forensic case scenario.

**Material and Methods:** Were used 6 different types of foodstuffs: chocolate, cheese, apple, chewing gum, pizza and tart (flaky pastry and custard). The food was bitten and dental casts of the hypothetical suspects were made.

Three-dimensional images of the dental casts and bitten objects were obtained using an x-ray source and the CB-CT equipment iCAT® (Imaging Sciences International, Pennsylvania, EUA). The software InVivo5® (Anatomage Inc, EUA) was used to visualize the images, measure its radiopacity at Hounsfield Units (HU) and to do the three-dimensional analysis of the images.

**Results:** There were obtained DICOM images in axial cuts from all the material in study. For each type of food a set of HU values was obtained, which varied between 194HU and -460HU. The chewing

gum had the highest value of radiopacity and pizza had the lowest. In all the foodstuffs the bitemark's contours could be identified.

**Discussion and Conclusion:** The HU values attributed to each material allowed comparing the radiopacity of the foodstuffs and casts relatively to water and air. The HU intervals obtained for each material can be explained by its composition. The more heterogeneous and less compact is an object, the highest is its HU interval. The chocolate, which is the most radiopaque (+100,5 HU), has a well defined image; pizza (-775,5 HU) has a less defined image in what concerns the contours of the bitemarks.

It was possible in all the foodstuffs to identify the teeth involved in the act of biting and to distinguish between the upper and lower dental arches.

All the used materials were successfully reconstructed in three dimensional images. Through the axial cuts and three-dimensional reconstruction it was possible to analyze the depth of the bitemark and dental arches.

The method that we used, compared to the traditional methods of impression of the bitemarks in foodstuffs, allows a better registration of the evidence data. This is possible even in materials like the custard of the tart, where it's not possible to use an impression material. In addition, in contrast to the impression methods, the CBCT is non-destructive, allowing the collection of DNA after the scanning of the object.

Comparatively to the photographic methods, this technique added the third dimension. This allowed the three-dimensional visualization of the object, obtained from the registration of its surface and interior. This method allows the correct registration of the entire biting surface, eliminating the distortion associated with the photographs. Furthermore, through the superficial and inner visualization of the object, it allows a rigorous analysis of the depth of the bitemark. We can conclude that computerized tomography is an important tool for forensic sciences, namely for the registration and analysis of bitemarks in foodstuffs that may be found in a crime scene.

**Keywords :** Cone Beam CT, Bitemark, foodstuff, three-dimensional analysis



**IOFOS 2013 INTERNATIONAL CONGRESS**

**FIRENZE, ITALY**

**FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA, POLICLINICO DI CAREGGI**

**FIRENZE, ITALY, AUGUST 29-31, 2013**

**[HTTP://CONGRESS.IOFOS.EU](http://congress.iofos.eu)**

Dear Colleague/s,

on behalf of the Scientific Committee of the 2013 IOFOS Congress in Firenze, I am happy to inform you that the paper you have submitted has been accepted as: **oral presentation**. Technical details about the presentation will follow later in 2013.

I have to remind you the following:

- the authors of the presentation must send an updated CV (file attached) as soon as possible to the scientific secretary of the congress at: [iofos2013firenze@gmail.com](mailto:iofos2013firenze@gmail.com)
- at least the presenting author must be fully registered and the member rate fees paid
- if you wish you can submit your full paper to the editorial board of the JFOS for a publication in the congress special issue. In this case you must follow the procedures shown in the Journal of Forensic Odonto-Stomatology section of the IOFOS website ([www.iofos.eu](http://www.iofos.eu)).

The Secretary of the Congress  
Francesco Pradella, MD DDS MSC



Dear Jeidson Marques,

Thank you for submitting an abstract to the upcoming IOFOS 2013 in Italy, Florence, on 29-31 August 2013.

On behalf of the Scientific Committee, we are pleased to inform you that your Paper (Analysis of bitemarks in foodstuff by computerized tomography (Cone Beam CT) - 3D reconstruction) has been accepted.

Firenze, 01.05.2013

Prof. Vilma Pindi

Prof. Gian Aristide Norelli

CONGRESSO IOFOS  
PRO.O.F - FIRENZE 2013  
Cod. Fisc. 94221700480

LOCATION  
Plesso Didattico Morgagni  
Viale Morgagni 40  
Firenze

WEBSITE & INFO  
<http://www.iofos.eu>  
<http://congress.iofos.eu>  
[iofos2013firenze@gmail.com](mailto:iofos2013firenze@gmail.com)