

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS COMPÓSITOS DE RESTAURO DENTÁRIO UTILIZANDO TÉCNICAS ÓPTICAS

J. M.¹, H. M. Lopes¹, M. Vaz¹, L. M. Campos², M. Vasconcelos³, J. C. Reis Campos³

¹ INEGI, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto; jmont@fe.up.pt

² Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo; lulidepaiva@hotmail.com

³ Faculdade de Medicina Dentária, Universidade do Porto; mvasconcelos@fmd.up.pt

PALAVRAS CHAVE: Dentes, Compósitos, Holografia digital, ESPI, Correlação de imagem.

RESUMO: *Os materiais compósitos são hoje em dia cada vez mais utilizados no restauro dentário. Estes materiais substituíram as tradicionais amálgamas que apresentavam alguns inconvenientes. Apesar das vantagens no uso destes novos materiais existem ainda alguns problemas a resolver, nomeadamente a sua contracção durante o processo de cura. Desta forma surgem tensões nos dentes restaurados, podendo originar dano estrutural. Pretende-se com este trabalho estudar o processo de contracção dos compósitos dentários utilizando as técnicas ópticas, holografia digital, ESPI e correlação de imagem que demonstraram estar bem adaptadas a este estudo. É ainda apresentado um estudo comparativo utilizando diferentes materiais compósitos, bem como um estudo numérico com simulação por elementos finitos.*

1 INTRODUÇÃO

Os materiais utilizados para reparar os dentes danificados são essencialmente as amálgamas dentárias e os materiais compósitos baseados em acrílicos.

As amálgamas dentárias têm sido usadas pelos dentistas nos últimos 150 anos como material de restauro devido ao seu baixo custo, fácil aplicação, resistência, durabilidade e efeito bacteriostático. Apesar destas características a sua utilização apresenta alguns inconvenientes tal como: a sua cor escura, toxicidade devido à presença de mercúrio e a necessidade de uma preparação específica dos dentes devido à falta de adesão. As amálgamas possuem maior longevidade quando comparadas com outros materiais de restauro, como por exemplo os compósitos [1]. No entanto, esta diferença, tem diminuído com o contínuo desenvolvimento das resinas compósitas [2].

As resinas activadas por luz começaram a ser utilizadas a partir dos anos 60 e são hoje em

dia largamente aplicadas no restauro de dentes danificados. Estes materiais são colados directamente nos tecidos rígidos dos dentes permitindo um restauro quase completo da rigidez estrutural do dente intacto.

Estudos demonstraram que as recorrentes cáries na *interface* são a principal razão de insucesso de restauro tanto das amálgamas como dos compósitos [3]. A contracção por polimerização que ocorre durante o processo de cura dos compósitos tem sido apontada como a principal razão de infiltração marginal pós-operatória [4]. A polimerização dos compósitos de enchimento dentário é um importante factor para se atingir longevidade no tratamento de restauro. A contracção induz tensões, que são transferidas para as estruturas envolventes (dentina e esmalte).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Pretende-se com este trabalho estudar as alterações dimensionais no dente e na resina, produzidas pela polimerização dos

compósitos de enchimento dentário foto activados. Para isso, numa primeira fase, foi necessário identificar as técnicas que melhor se adaptavam a este estudo.

De entre as técnicas disponíveis, para registar as alterações induzidas durante o processo de contracção da resina, as técnicas ópticas apresentavam à partida todas as vantagens para a sua utilização. Assim, e pelas suas características, a Holografia Digital (HD), o ESPI e a Correlação de Imagem (CI) foram as escolhidas. São todas técnicas de imagem que estão bem adaptadas a este estudo, pois permitem obter os campos de deslocamento de pequenos objectos sem contacto e com uma elevada resolução.

2.1 ESPI

O ESPI (*Electronic Speckle Pattern Interferometry*) é uma técnica de interferometria holográfica, que utiliza uma fonte de luz coerente, permitindo obter sem contacto e com elevada resolução, a distribuição de deslocamentos associada à deformação da superfície de um objecto [5]. Na Fig. 1 representa-se esquematicamente uma montagem convencional de ESPI com sensibilidade aos deslocamentos fora do plano.

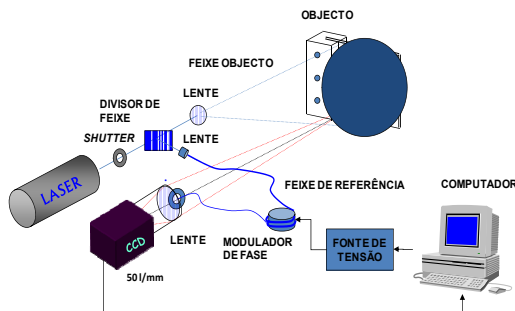


Fig. 1 Dispositivo experimental de um sistema de ESPI.

O holograma resulta da interferência entre o feixe reflectido pelo objecto a estudar e o feixe de referência. Com a montagem de ESPI são registados hologramas em tempo real, e obtidos padrões de franjas resultantes da correlação entre padrões de *speckle* antes e após a alteração ocorrida na superfície do

objecto. Desta forma são medidos os deslocamentos na superfície e segundo a direcção do vector sensibilidade, bissectriz do ângulo entre as direcções de iluminação e observação.

2.2 HOLOGRAFIA DIGITAL

A HD tal como o ESPI é também uma técnica de interferometria holográfica. Estas técnicas são muito semelhantes, no entanto na HD não existe sistema óptico de formação de imagem, sendo gravado um holograma com um CCD o qual é posteriormente reconstruído numericamente [6]. A reconstrução digital da onda complexa (amplitude e fase) é baseada na transformada de Fresnel, uma aproximação do integral de difracção [7].

Na Fig. 2 apresenta-se o dispositivo experimental de HD. O feixe de referência e o feixe objecto interferem na superfície do CCD. Comparativamente com o ESPI é um sistema mais fácil de implementar e de mais baixo custo ainda que só permita medir objectos de pequenas dimensões.

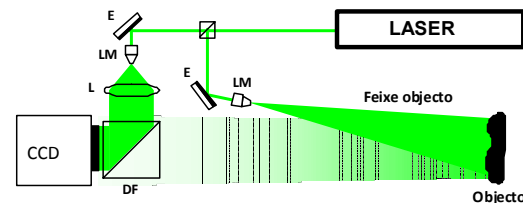


Fig. 2 Dispositivo experimental de um sistema de Holografia digital.

2.1 CORRELAÇÃO DE IMAGEM

A correlação de imagem é uma técnica de imagem que nos últimos anos tem vindo a ser cada vez mais a ser utilizada. As principais razões desta divulgação têm a ver com a versatilidade e facilidade de implementação desta técnica.

Na CI, contrariamente ao ESPI e à HD, o objecto é iluminado por um padrão de luz não coerente. Neste caso os padrões de intensidade resultam da textura da superfície do objecto ou são gravados nela. Estes padrões, que deverão ter uma distribuição aleatória, serão divididos em pequenas áreas. Cada subdivisão da imagem é inicialmente

registada e comparada, por correlação, com as imagens obtidas para os diferentes estados de deformação do objecto, este princípio está esquematicamente representado na Fig. 3.

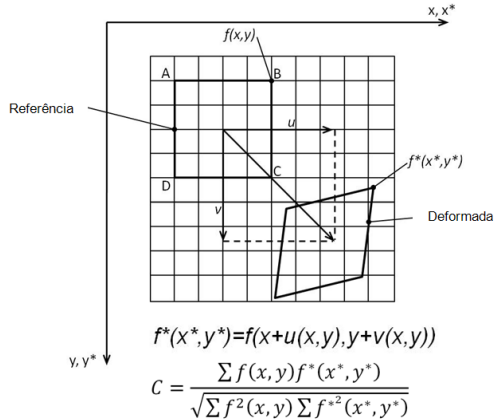


Fig. 3 Princípio básico de funcionamento da CI.

A determinação dos campos de deslocamento e deformação são obtidos pela correlação entre o padrão aleatório da imagem inicial (referência) e da final (deformada) [8]. A textura pode ser natural, caso o objecto possua uma textura apropriada, ou obtida através da deposição de partículas de dimensão apropriada na superfície a medir. Este ponto é fundamental pois influencia a exactidão da medição.

A CI pode ser utilizada para medir em 2D ou 3D, no primeiro caso usando apenas uma câmara e no segundo caso duas câmaras.

3 RESULTADOS

Neste estudo, foram utilizados dentes humanos (molar e pré molar) e dentes artificiais. Utilizou-se o mesmo protocolo clínico na preparação das cavidades de enchimento. Foi preparada uma cavidade de classe I no lado de oclusão, e uma de classe II no lado de mesio-oclusão no pré molar e de seguida restauradas com compósitos, cumprindo os requisitos de Black. As cavidades foram feitas com uma profundidade de 2,5 mm, com broca calibrada e com stop. A forma 3D do dente e da cavidade de enchimento foram obtidas com um sistema de levantamento de forma (CEREC), e utilizadas

na simulação por elementos finitos com o código ANSYS. Neste modelo matemático foi simulada a contracção da resina, Fig. 4.

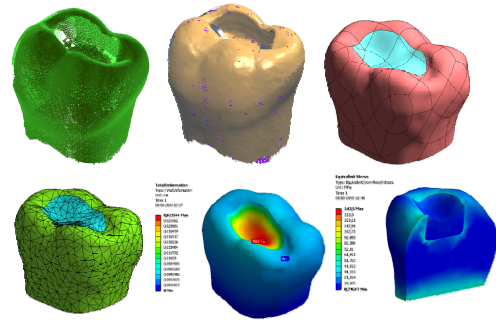


Fig. 4 Levantamento de forma do dente e da cavidade de enchimento, e simulação por elementos finitos.

As preparações foram colocadas num dispositivo de HD e ESPI para obter os campos de deslocamento, Fig. 5. Foi utilizada uma lâmpada de luz azul (420nm – 480nm) para induzir a polimerização do compósito, sendo registada a deformação em tempo real durante a cura da resina. Os dados experimentais foram processados para obtenção das deformações. As medições indirectas do comportamento da resina foram obtidas a partir da deformação do dente, dado que as medições directas na superfície da resina são muito difíceis por descorrelação do *Speckle*.

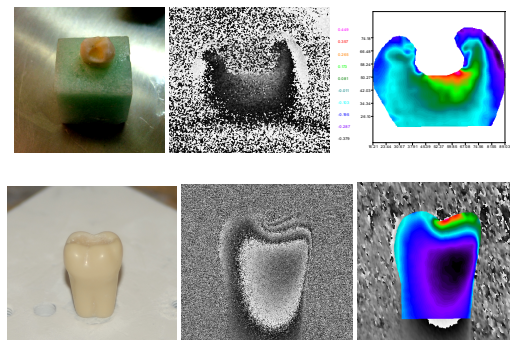


Fig. 5 Resultados obtidos com Holografia Digital e ESPI.

Para testar a CI neste tipo de aplicação e devido às características da superfície do dente, não apresentando qualquer textura apropriada à implementação desta técnica, foi

necessária a criação na superfície do dente de uma textura apropriada. Para a realização dos testes recorreu-se a uma mandíbula cadavérica à qual foi aplicada uma carga em dois tipos de dentes diferentes. A configuração utilizada foi a de medição 2D, ou seja no plano da imagem. Na Fig. 6 podem ver-se as imagens dos dois dentes seleccionados, a textura transferida para a superfície dos dentes e alguns resultados obtidos da deformação medida segundo y.

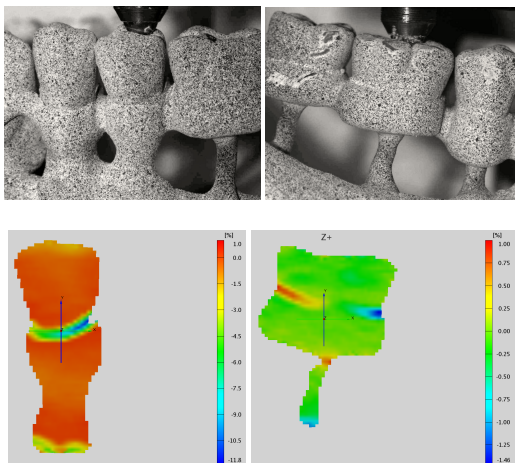


Fig. 6. Preparação da superfície e resultados obtidos com correlação de imagem.

Como se pode ver na Fig. 6, apesar da menor resolução da CI, é perfeitamente detectada a interface dente/suporte metálico. A utilização de duas câmaras permite obter informação semelhante à registada com as outras técnicas

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram o potencial destas técnicas na medição indirecta da contracção das resinas de restauro dos dentes. No caso do ESPI e da holografia digital os resultados obtidos são muito semelhantes, com a vantagem da holografia digital apresentar um dispositivo experimental mais simples, como tal mais fácil de implementar e mais económico, no entanto com o ESPI existe a vantagem de poder acompanhar o processo de contracção em tempo real.

A técnica de correlação de imagem, apesar de apresentar uma resolução inferior às técnicas

anteriores, demonstrou ter um grande potencial para aplicação a este estudo. Trata-se de uma técnica com uma grande versatilidade, embora a criação de uma textura adequada em objectos tão pequenos, como é o caso dos dentes, não seja tão fácil.

Os resultados obtidos pela técnica híbrida numérica/experimental deverão no futuro ser comparados com dados obtidos por outras técnicas, como por exemplo pela dilatométrica convencional ou interferométrica.

REFERÊNCIAS

- [1] Christensen, GJ. Longevity of posterior tooth dental restorations. "JADA 2005;136:201-203,.
- [2] Leinfelder KF and the skill of dentists. Do restorations made of amalgam outlast those made of resin-based composites? JADA 2000;131:1186-1187.
- [3] Bernardo M, Martin MD, Lerouz BG. Survival and reasons for failure of amalgam versus resin-based composites posterior restorations placed in a randomized clinical trial. JADA 2007;138:775-783.
- [4] Burgess JO, Walker R, Davidson JM. Posterior resin-based composite: review of the literature. *Pediatr Dent* 2002;24(5):465-479.
- [5] J.M. Monteiro; J.A. Chousal; F.M.F. Santos; M.A.P. Vaz; J.F. Silva Gomes; "A Miniaturised Electronic Speckle Pattern Interferometer", *Mechanics in Design*, Toronto University, Canada, May of 1996.
- [6] L. P. Yaroslavskii and N. S. Merzlyakov, "Methods of Digital Holography", New York: Consultants Bureau, 1980.
- [7] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1996.
- [8] Hu, T., Ranson, W., Sutton, M., Peters, W., "Application of Digital Image Correlation Techniques to Experimental Mechanics", *Experimental Mechanics*, nº 3, Vol. 25, 1985, pg. 232-244.