

## CONFIGURACIÓN CAVITÁRIA: ANÁLISIS FOTOELÁSTICO DE LA CONCENTRACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES

**Cavity configuration: Photoelastic analysis of concentration and distribution of stress**

**Configuração cavitária: análise fotoelástica da concentração e distribuição de tensões**

**Recibido para arbitraje: 03/07/2006**

**Aceptado para publicación: 11/01/2007**

**Luiz Felipe Butzke Coelho<sup>1</sup>, Regenio Mahfuz Herbstrith Segundo<sup>2</sup>, Prof. Dr. Eduardo Gonçalves Mota<sup>3</sup>, Prof. Dr. Marcio Grossi<sup>3</sup>**

1. Cirujano Dentista, con grado de Maestría en Operatoria Dental Restaurativa otorgado por la ULBRA.
2. Cirujano Dentista, con título de Especialista en Implantología otorgado por la Asociación Brasileña de Odontología de Río Grande del Sur, cursando estudios de Maestría en Materiales Dentales en la Pontificia Universidad Católica de Río Grande del Sur.
3. Maestros de Post-graduación en Odontología de la Pontificia Universidad Católica do Río Grande del Sur

**Dirección postal:** Luiz Felipe Butzke Coelho, Av. Gastão H. Mazon 75/501  
Bairro Medianeira - Porto Alegre - RS - Brasil CEP 90880-370, **email:** [regesegundo@yahoo.com.br](mailto:regesegundo@yahoo.com.br)

### **Resumen:**

El presente trabajo tiene por objetivo evaluar la respuesta de dientes pré-molares superiores sanos y preparados a través de la análisis cualitativo de la distribución y concentración de las tensiones, de la luz polarizada en modelos fotoelásticos de los mismos. Fueron creados modelos fotoelásticos con diferentes configuraciones de preparación cavitaria y esos cuerpos se sometieron a carga oclusal en maquina de ensayo universal asociado al polariscopio circular para el análisis de una distribución de las tensiones. Los resultados obtenidos demuestran que, en los dientes sanos, las tensiones están concentradas en el esmalte de la cúspide palatina, diferentemente de los modelos con preparaciones cavitarias donde la concentración de las tensiones se produjo en regiones diversas del modelo fotoelástico. La configuración cavitaria influye directamente en la distribución de las tensiones, pues cuan mayor sea la remoción de la estructura dentaria, peor será el comportamiento mecánico del remanente.

**Palabras clave:** resistencia a la fractura, fotoelasticidad, configuración cavitaria

### **Abstract:**

The aim of this study was evaluate the behavior of upper first premolars with different cavity configurations using a qualitative analysis of distribution and stress concentration through polarized light in photoelastic models. Photoelastic models were created with different cavity preparations and these samples were submitted to occlusal stress using an universal testing machine associated to circular polariscope that analyzed the stress distribution. The results showed that stress is concentrated in enamel of palatal cuspid in sound teeth. Differently, in the prepared models, stress concentration occurred in different areas of the photoelasticity model. The cavity configuration has a direct influence on the stress distribution. As much tooth structure is removed, worst is the mechanical behavior of the reminiscent.

**Key words:** facture strength, photoelasticity analysis.

### **Resumo**

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a resposta de dentes pré-molares superiores hígidos e preparados através da análise qualitativa da distribuição e concentração das tensões através da luz polarizada em modelos fotoelásticos dos mesmos. Foram criados modelos fotoelásticos com diferentes configurações de preparo cavitário e esses corpos foram submetidos a carregamento oclusal em maquina de ensaio universal associado ao polariscopio circular para análise da distribuição das tensões. Os resultados obtidos demonstram que, nos dentes hígidos, as tensões estão concentradas no esmalte da cúspide palatina, diferentemente dos modelos com preparos cavitários onde a concentração das tensões se deu em regiões diversas do modelo fotoelástico. A configuração cavitária influencia diretamente a distribuição das tensões, pois quanto maior a remoção da estrutura dentária, pior se torna o comportamento mecânico do remanescente.

**Palavras chave:** resistência à fratura, análise fotoelástica

### Introducción

Este artículo consiste en analizar la influencia de la preparación cavitaria y su relación íntima con el material restaurador seleccionado: podemos optar por la realización de ensayos mecánicos de fractura (Mondelli et al.)(7), los análisis de tensiones por el método de los elementos finitos (Farah et al)(2) y los de tensiones por métodos de fotoelasticidad (Kuroe et al.)(3).

En el presente trabajo, optamos por el análisis cualitativo del estado de tensión/deformación a través de la luz polarizada de modelos tridimensionales de resina fotoelástica que simulan la estructura dentaria y el periodonto de inserción(8,11). Tensión puede ser conceptualizada como siendo la respuesta interna a fuerzas aplicadas externamente. Cuando una fuerza se aplica en un cuerpo, éste, pasa por modificaciones internas, o sea, deformaciones. Así, el estado de tensión/deformación es la respuesta del elemento dentario frente a las cargas oclusales, laterales y oblicuas existentes en el proceso masticatorio, hábitos parafuncionales y cualquier otro proceso que induzca fuerzas en el mismo.

Mondelli et al.(7) realizaron un trabajo para evaluar la influencia de las diferentes configuraciones de preparaciones en dientes posteriores en cuanto a la resistencia a la fractura. Los autores concluyeron que la remoción de la estructura dentaria reduce significativamente la resistencia a la fractura de dientes posteriores.

Miranda et al.(6) discutieron sobre la resistencia a la fractura de premolares restaurados con resina compuesta directa e indirecta. Como resultado, observó que los dientes preparados no-restaurados sufrieron reducción significativa en la resistencia a la fractura, mientras que los dientes preparados y restaurados por la técnica adhesiva directa e indirecta presentaron resistencia equivalente a la de los dientes sanos y equivalentes entre sí.

La aplicación de fuerzas verticales y/o oblicuas en los modelos tridimensionales representativos del diente sano o con diferentes tipos de preparaciones, genera alteraciones en la estructura del material fotoelástico del órgano dental (Kuroe et al.)(3) que pueden ser identificadas a través de haces divergentes de luz polarizada en los lugares de concentración de la tensión.

El presente trabajo tiene por objetivo evaluar la respuesta de dientes pré-molares superiores sanos y preparados a través del análisis cualitativo de la distribución y concentración de las tensiones a través de la luz polarizada en modelos fotoelásticos de los mismos

### Materiales y Métodos

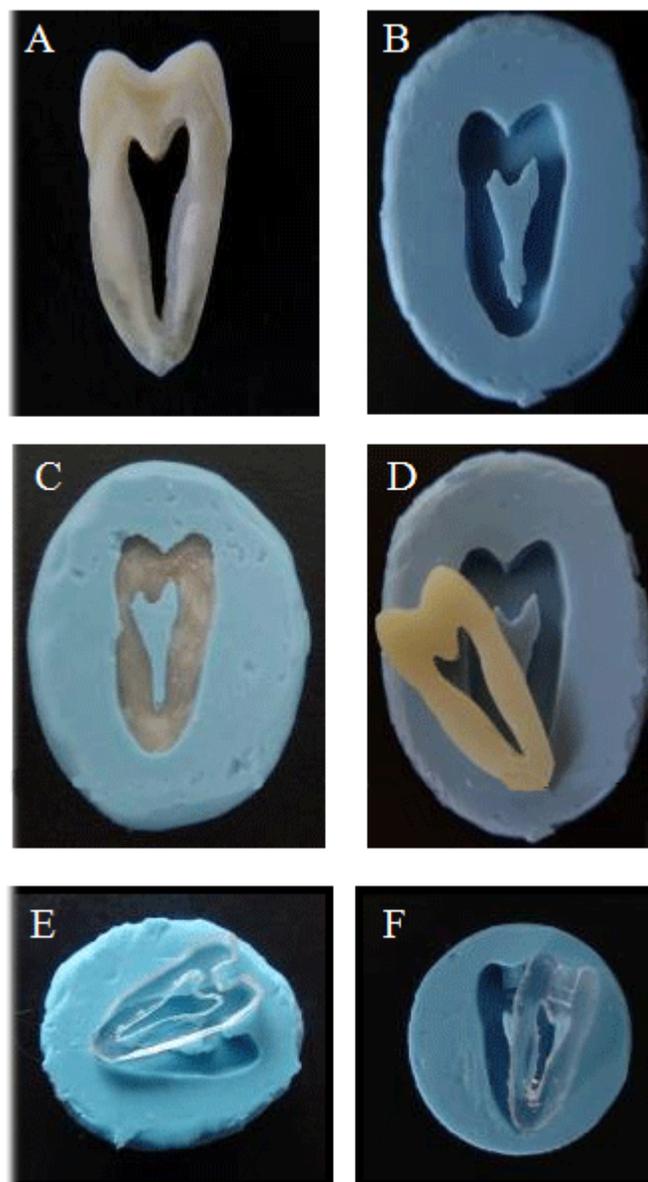
El método de la fotoelasticidad se basa en la propiedad de determinados materiales transparentes que, cuando se observan a través de una luz polarizada, exhiben diversos patrones de colores. Este efecto es resultante de la refracción que la luz polarizada sufre cuando está en contacto con las deformaciones internas resultantes del estado de tensiones en el modelo (Assif et al; Mattison)(1,4).

Un diente premolar superior sano, fue seleccionado para servir de modelo para el ensayo fotoelástico. Para facilitar el análisis, el diente escogido poseía solamente una raíz fusionada. Ese diente fue seccionado con discos de carborundum y, enseguida, fué lijado para remover aristas y confeccionar un correcto pulido, generando, así, un corte longitudinal uniforme del órgano dental (Fig. 1A).

En seguida, el diente seccionado fue colado en un azulejo, aislado con vaselina sólida y una pequeña muralla de cera 7 fue confeccionada en su alrededor. Después de hecha la velación con cera, fue vertida la silicona Aerojet y pasadas 24 horas, se hizo la remoción de la cera 7 y del diente seccionado, obteniéndose así pronta la matriz de silicona del diente sano (Fig. 1B).

Los modelos de dientes en que había necesidad de preparaciones cavitarias pasaron por etapas más críticas en que, previamente al modelo fotoelástico, confeccionamos modelos de resina compuesta fotoactivada (Fig. 1C e D). Esos modelos sí recibieron las debidas preparaciones cavitarias y se duplicaron en resina fotoelástica (Fig. 1E e F). Las réplicas en resina compuesta fueron preparadas utilizando una punta diamantada de número 1151 (KG Sorensen) posicionada perpendicularmente a la cara oclusal de la réplica, dividiendo los cuerpos de prueba en cuatro diferentes grupos según sus configuraciones cavitarias: Modelo 1, diente sano; modelo 2, cavidad clase 1 simple; modelo 3, clase II simple (DO) y modelo 4, clase II compuesta (MOD).

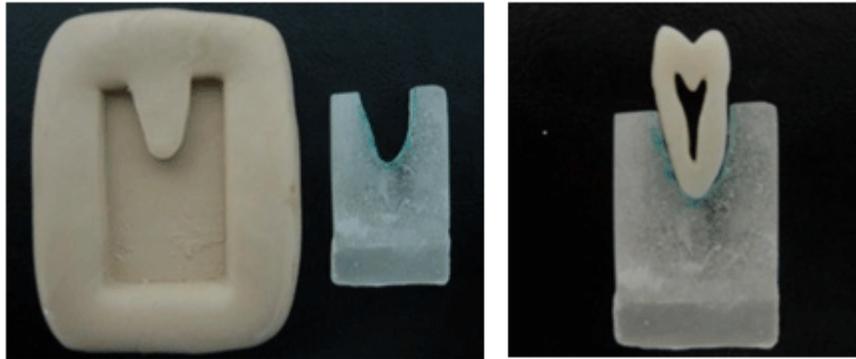
**Figura 1**  
**Confección de las matrices y modelos fotoelásticos.**



Con las preparaciones realizadas, seguimos el mismo patrón de inclusión citado anteriormente para la confección de las matrices representativas para los dientes con preparaciones clase I, clase II DO y clase II MOD.

La simulación del periodonto de inserción se dio a través de la confección de una matriz de silicona de adición con un leve espesamiento, realizado con cera 7 en el modelo fotoelástico del diente sano. A partir de esa matriz, confeccionamos en resina de poliestireno una formación que simula el hueso alveolar (Fig. 2). Para la simulación del ligamento periodontal utilizamos el material de modelaje IMPREGUM F(3M-ESPE) y su adhesivo.

**Figura 2**  
**Confección del ligamento periodontal simulado**



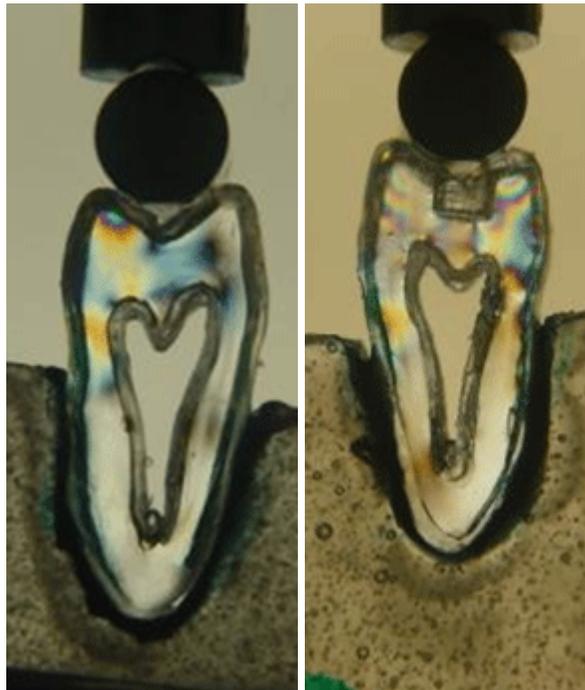
Para estandarizar la carga, simulamos un ensayo mecánico de compresión con la utilización de un cilindro de 6 mm para la aplicación de fuerzas. El contacto ocurría en las vertientes internas de las cúspides vestibular y palatina. Para mejor lectura de los datos generados, se utilizó como patrón un cargamento oclusal de 30 N. Ese cargamento, en comparación con los valores necesarios para la fractura de los dientes parece pequeño, pero, siempre cabe recordar que la resina fotoelástica posee un módulo de elasticidad menor que el elemento dentario, generando, así, mayores deformaciones internas en el modelo. Si optamos por cargas mayores que 30 N, tendremos la formación de franjas con altas concentraciones de tensión, generando, así, respuestas equivocadas en la interpretación visual del estado de tensión/deformación ocurrida en los modelos fotoelásticos.

Con los modelos fotoelásticos representativos de los grupos de pesquisa, cada conjunto fue posicionado en la máquina de ensayo universal EMIC 500 DL, juntamente con el polariscopio circular y una fuente luminosa posicionada en la parte de atrás de la máquina. Fue aplicada una carga oclusal de 30 N a través del contacto del cilindro de 6 mm en la vertiente interna de las cúspides de los modelos fotoelásticos. La carga oclusal fue analizada por el polariscopio circular, y el registro de las imágenes es hecho por una cámara fotográfica digital SONY CYBER-SHOT de 5.0 mega pixels.

### Resultados

En el modelo fotoelástico del diente sano, tenemos gran concentración de tensiones en la región correspondiente al esmalte en la cúspide palatina, con esa tensión disminuyendo de intensidad en la región cervical envolviendo áreas correspondientes al esmalte y a la dentina. Franjas de color uniforme aparecen en otras regiones de la corona dentaria, indicando distribución uniforme de las tensiones. No hay registro de formación de franjas fotoelásticas en la región apical del modelo (Fig. 3).

En el modelo fotoelástico representativo del grupo II, tenemos concentraciones de tensión en toda la región correspondiente a la cúspide palatina y al piso de la cavidad. En la región cervical vestibular, tenemos concentraciones de tensión en menor intensidad. El mantenimiento de las crestas marginales impide mayor flexión de las cúspides, transmitiendo, así, la carga a lo largo del eje del diente. En la región apical, no hay formación de franjas fotoelásticas (Fig. 4).



**Figura 3: modelo fotoelástico del diente sano.**

**Figura 4: modelo fotoelástico del diente con preparación cavitaria clase I.**

En el modelo fotoelástico representativo del grupo III, tenemos concentración de tensión a lo largo de la cavidad D-O con áreas de mayor intensidad en el piso de la misma, próximo al cono pulpar. En la región cervical, con mayor intensidad en la porción palatina, y franjas difusas en la porción vestibular. Aparecen tensiones en la región apical en menor intensidad (Fig. 5). La mayor remoción de estructura dentaria determina diferencias del estado tensión/deformación en el presente modelo con relación al diente sano.

El mantenimiento de solamente una cresta no evitó cambios en el comportamiento biomecánico del elemento dentario.

En el modelo fotoelástico representativo del grupo IV, tenemos concentración de tensión significativas a lo largo de todo el elemento dentario. Franjas fotoelásticas con coloración definidas aparecen a lo largo de la cavidad MOD, porción interna de las cúspides y piso de la cavidad. En la porción cervical tenemos gran acúmulo de tensiones en la vestibular, sugiriendo un área altamente susceptible a la fatiga y falla estructural del tejido dentario, compatible clínicamente con lesiones cervicales no-cariosas. En la porción apical, tenemos franjas fotoelásticas bien definidas, sugiriendo concentración de tensión próxima al ápice del diente (Fig. 6). La gran remoción de tejido dentario en conjunto con el no mantenimiento de las crestas marginales y vertientes internas de las cúspides proporcionó mudanzas significativas en el comportamiento biomecánico de ese modelo en relación a los otros modelos solamente preparados. Las cúspides, al sufrir la carga oclusal, no sufrieron restricciones de movimiento, actuando, así, como partes independientes con la resultante de la tensión ejercida en direcciones contrarias, generando áreas de extrema tensión a lo largo de todo el elemento dentario.



**Figura 5: modelo fotoelástico del diente con preparación cavitaria clase II D-O.**

**Figura 6: modelo fotoelástico del diente con preparación cavitaria clase II M-O-D.**

### **Discusión**

Por los resultados obtenidos, queda todavía más evidente la necesidad de estimular modelos cavitarios mínimos, restaurados con material adhesivo, los llamados tratamientos mínimamente invasivos. Desde el trabajo de Mondelli et al.(7), 1980, que se sabe la importancia de se ejecutar preparaciones cavitarias con un mínimo de remoción de estructura dentaria. Preservar, por sobre todo es un deber.

La metodología utilizada en ese estudio puede ser asociada a ensayos mecánicos de compresión(5, 6, 7) y ensayos matemáticos de elementos finitos(2, 9, 10) para tener una relación más verdadera de la distribución y concentración de las tensiones.

Para algunos autores (2,10) la metodología de los elementos finitos es más precisa pues al acrecentar características intrínsecas de las diversas estructuras componentes del órgano dental tendremos una respuesta más adecuada frente a cargas multivectoriales. Entretanto, la fotoelasticidad además de proporcionar respuestas adecuadas en relación a las cuestiones pertinentes a nuestro estudio, también sirve como parámetro para la correcta calibración de los modelos virtuales.

El desenvolvimiento de pesquisas y metodologías en que no es necesaria la utilización de dientes u otro material biológico es bienvenido al escenario de la pesquisa odontológica mundial. Desde la creación de los comités de ética y normas reguladoras de la pesquisa que permiten evitar situaciones abusivas, tanto para hombres cuanto para animales, el acceso a dientes y materiales biológicos se ha tornado restringido. La simulación de la realidad es una nueva tendencia a ser explotada en la pesquisa odontológica moderna. La interacción con otras fuentes de conocimiento, como la ingeniería, es fundamental para el impulso de esas nuevas técnicas

### **Conclusión**

La configuración de la preparación cavitaria es factor importantísimo en la distribución de las tensiones. Cuanto mayor la remoción de la estructura dentaria, peor será el comportamiento mecánico del remanente.

#### Referencias Bibliográficas

1. Mondelli J. Steagall L. Ishikiriana A. de Lima Navarro MF. Soares FB. Fracture strength of human teeth with cavity preparations. *J Prosthet Dent* 1980; 43: 419-22 .
2. Farah J.W. Craig R.G. Sikarskie D.L.I. Photoelastic and finite element stress analysis of a restored axisymmetric first molar. *J Biomech* 1973; 6: 511-20.
3. Kuroe T. Itoh H. Caputo A. A. Konuma M. Biomechanics of cervical tooth structure lesions and their restoration. *Quintessence Int* 2000; 31: 267-74.
4. Muhlemann H.R. Zander H.A. Tooth mobility III. The mechanism of tooth mobility. *J Periodontol* 1954; 25: 128.
5. Scharnagl P. Simulation der physiologischen zahnbeweglichkeit bei der in-vitro-belastungsprufung dentaler restaurationen im "Regensburger Kausimulator" untersuchung am beispiel vollkeramischer in-ceram-brucken. 1998. 102 f. Dissertatio zur Erlangung des Doktorgrades der zahnheilkunde, Medizinischen Fakultät der Universtat Regensburg, Regensburg, 1998.
6. Miranda C.B. Noya M.S. Bezerra R.B. Oliva E.A. Resistência à fratura de pré-molares restaurados com resina composta direta e indireta. *J Bras Dent Estét* 2003; 2: 133-39.
7. Assif D. Oren E. Marshak B.L. Aviv I. Photoelastic analysis of stress transfer by endodontically treated teeth to the supporting structure using different restorative techniques. *J Prosthet Dent* 1989; 61: 535-42.
8. Mattison G.D. Photoelastic stress analysis of cast-gold endodontic posts. *J. Prosthet Dent* 1982; 48: 407-11.
9. Minto A.M.P. Dinelli W. Nonaka T. Thomé L.H. De C. Estudo comparativo da resistência à fratura de pré-molares superiores íntegros e restaurados com amálgama aderido. *Pesqui Odontol Brás* 2002; 2: 121-26.
10. Palamara D. Palamara J.E.A. Tyas M.J. Messer H.H. Strain patterns in cervical enamel of teeth subjected to occlusal loading. *Dental Materials* 2000; 16: 412-19.
11. Sabbagh J. Vreven J. Leloup G. Dynamic and static moduli of elasticity of resin - based materials. *Dental Materials* 2002; 18: 64-71.