



**13º POSMEC – Simpósio do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Mecânica**



ANÁLISE COMPARATIVA DA DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES EM DENTES RESTAURADOS COM PINOS INTRA-RADICULARES USANDO O MÉTODO FOTOELÁSTICO – PARTE I

Thiago Caixeta de Araujo

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila nº 2160, Campus Santa Mônica – Bloco 1M – Uberlândia – MG.

tcaixeta@mec.ufu.br

Luana Cristina Araújo de Oliveira

Faculdade de Odontologia de Araraquara, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rua Humaitá nº 1680, Centro, Araraquara – SP.

luana@umuarama.ufu.br

Sonia Aparecida Goulart Oliveira

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila nº 2160, Campus Santa Mônica – Bloco 1M – Uberlândia – MG.

sgoulart@mecanica.ufu.br

Anthony Abrahão

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila nº 2160, Campus Santa Mônica – Bloco 1M – Uberlândia – MG.

anthony@mecanica.ufu.br

Resumo:

O objetivo deste estudo foi analisar as tensões geradas em dentes restaurados com diferentes tipos de pinos intra-radiculares, utilizando a técnica de Fotoelasticidade. Estes resultados serão utilizados para ajustar um modelo plano de elementos finitos a ser apresentado em uma segunda parte. Desta forma, um modelo bidimensional representativo do incisivo central superior foi construído em material fotoelástico PSM-1 e restaurado com os seguintes pinos intra-radiculares: fibra de carbono, fibra de vidro, zircônio, aço inoxidável, titânio e metálico fundido (Liga de Cu-Al). Para aplicação da carga foi projetado e construído um suporte metálico que simula o contato do dente inferior durante a mastigação. As tensões foram analisadas de forma qualitativa com a determinação do valor de ordem de franja nas áreas críticas de concentração de tensões antes e durante a aplicação de cargas. Com a análise dos resultados verificou-se que os pinos de zircônio, aço inoxidável, titânio e metálico fundido, promoveram maior concentração de tensões na região conduto radicular ao longo da interface pino/dentina. Os pinos de aço inoxidável rosqueáveis produziram uma região de alta concentração de tensões nos filetes de rosca antes da aplicação de carga. Nos pinos de fibra de vidro e fibra de carbono houve uma distribuição de tensões uniforme ao longo de toda a superfície. Concluiu-se que os pinos metálicos e de zircônio podem aumentar os riscos de falha e fratura radiculares devido à maior concentração de tensões que promovem quando comparados aos pinos não metálicos. A convergência de resultados entre os dois métodos demonstra a viabilidade para aplicação em pesquisas odontológicas. Além disso, podem-se verificar as vantagens da associação de estudos numéricos e experimentais, possibilitando a análise de um problema específico de forma detalhada.

Palavras-chave: *Análise de tensões, Pinos intra-radiculares, Fotoelasticidade.*

1. INTRODUÇÃO

Apesar do grande número de publicações científicas e materiais existentes no mercado, ainda é difícil no dia-a-dia do cirurgião dentista apontar qual o melhor plano de tratamento na perspectiva da longevidade da restauração de dentes tratados endodonticamente. Este tem sido um assunto de grande interesse por parte dos profissionais da área odontológica por mais de cem anos.

Na solução de problemas da biomecânica, a fotoelasticidade plana possui uma grande vantagem sobre os métodos numéricos: sua facilidade na modelagem e, por ser um método experimental, consegue-se uma visão do campo das tensões (Oliveira, S. A. G., 1990). Existe a dificuldade em fazer a leitura dos parâmetros fotoelásticos (ponto a ponto). Mas é possível, com a digitalização de imagens de um modelo fotoelástico sob tensões, definir os parâmetros fotoelásticos rapidamente (Plouzenec, N., Dupré, J.C., Lagarde, A., 1999). Para aquisição desta imagem pode-se usar uma câmera digital ou máquina fotográfica e scanner. Uma imagem obtida por um scanner possui uma melhor resolução do que a câmera digital (Hoy, D.E.P., 1998), facilitando a leitura dos parâmetros fotoelásticos.

Os objetivos deste trabalho são: Determinar a metodologia e procedimentos experimentais para determinar a distribuição de tensão em modelos fotoelásticos de incisivos centrais, reconstituídos com diferentes pinos intrarradiculares. Projetar e construir um sistema de cargas para a aplicação de esforços. Medir e analisar os parâmetros fotoelásticos nos modelos acima citados e, por fim, verificar a distribuição de tensões resultante de cada pino intrarradicular.

2. RESTAURAÇÃO INTRARRADICULAR

Os pinos intrarradiculares têm como objetivos a retenção do material de preenchimento e reforçar o remanescente coronário. Quanto à sua classificação podem ser: pinos e núcleos metálicos fundidos e pinos e núcleos pré-fabricados.

Os pinos intrarradiculares se diferem em: Geometria (paralelos ou cônicos) (Fig. 1) e configuração (serrilhados (A), lisos (B) ou rosqueados (C)).

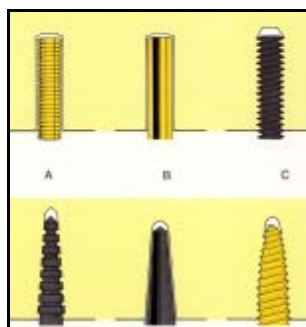


Fig. 1 – Geometria e configuração dos pinos

O principal problema destes pinos são as fraturas radiculares. Um material restaurador ideal deve ter uma boa estética, ser resistente e possuir propriedades mecânicas semelhantes à estrutura dentária. E para que este material restaurador seja tudo isto, deve-se obter uma distribuição de tensões mais uniforme.

Os sistemas de pinos intrarradiculares tomados para a análise estão na Tabela 1.

A metodologia utilizada na análise das tensões foi a técnica fotoelástica.

TABELA 1 – Seis sistemas de pinos intrarradiculares

Grupo	Produto	Fabricante	Material	Tipo
I	Flexi-post	EDS	Aço inoxidável	Ativo, paralelo
II	Cosmopost	Ivoclar	Zircônio	Passivo, cônico
III	C-post	Bisco	Resina/Fibra de Carbono	Passivo, paralelo
IV	Fibre-Kor	Jeneri/Pentron	Resina/Fibra de Carbono	Passivo, paralelo
V	Para Post	Whaledent	Titânio	Passivo, paralelo
VI	Núcleo metálico	Laboratório	Co-Al (Duracast)	Passivo, cônico

3. MÉTODO FOTOELÁSTICO

O princípio básico da fotoelasticidade é utilizar um modelo similar, de material fotoelástico, e através da observação ou medida dos efeitos óticos, obter qualitativa ou quantitativamente as tensões/deformações.

A utilização da técnica da fotoelasticidade é particularmente útil em partes com formas geométricas e/ou distribuição de carga complexa. Possui grandes aplicações em problemas onde informações das tensões/deformações em uma grande área da estrutura seja necessário, fornecendo uma imagem geral da distribuição das tensões, ao invés de informações ponto a ponto (campo contínuo). É uma técnica mais barata e mais rápida se comparada com métodos numéricos, quando usada na obtenção das tensões em contornos livres, como é o caso da grande maioria dos problemas.

Uma grande aplicação da fotoelasticidade plana é a otimização de partes devido a grande facilidade de modelar as condições de contorno, bem como na determinação dos fatores de intensificação de tensões.

3.1. Materiais Fotoelásticos

Existem vários materiais que podem ser utilizados na fotoelasticidade plana, dentre estes destaca-se o PSM-1 (policarbonato fornecido pela Vishey Inc.). No estudo do estado plano de tensões usando a fotoelasticidade, é necessário confeccionar modelos feitos de material transparente, homogêneo, isotrópico, linear, possuindo certas propriedades óticas. A propriedade ótica fundamental requerida é que os materiais exibam uma dupla refração temporária (anisotropia ótica), quando submetidas a um estado de tensões/deformações.

3.2. Ótica de um polariscópio plano e circular

Em um estudo utilizando fotoelasticidade plana, modelos similares são construídos e as cargas, que melhor simulam as cargas reais, são aplicadas no modelo. Os efeitos óticos resultantes da aplicação das cargas, são observados em um campo de luz polarizada, produzido por um instrumento conhecido como polariscópio. Um polariscópio plano é constituído por uma fonte de luz, duas placas polarizadoras de luz sendo uma chamada polarizadora e a outra, analisadora. À esta última é acoplado um transferidor para a medida dos parâmetros fotoelásticos (Dally, J. W. & Riley W. F., 1978).

Já um polariscópio circular se diferencia por ter duas placas retardadoras de um quarto de onda posicionadas entre as placas polarizadoras e o modelo fotoelástico. Com o uso do polariscópio circular, é possível eliminar o parâmetro das isoclínicas.

3.3. Lei Ótica das Tensões

As ordens de franja estão relacionadas com o estado de tensões no modelo, através da relação conhecida como “Lei Ótica das Tensões” (Durelli, A.J. & Riley, W.F., 1965). Desta forma, no plano xy do modelo, tem-se:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{N}{t} \cdot K_\sigma = 2 \cdot \tau_{m\acute{a}x}$$

onde: $\sigma_1, \sigma_2 \rightarrow$ tensões principais;

$\tau_{m\acute{a}x} \rightarrow$ tensão cisalhante máxima;

$N \rightarrow$ ordem de franja (isocromática);

$\phi \rightarrow$ ângulo entre o eixo x e a direção de σ_1 (isoclínica);

$K_\sigma \rightarrow$ constante ótica;

$t \rightarrow$ espessura do modelo.

4. SISTEMA DE CARGA

Com a necessidade de simular uma mordida, foi projetado um sistema de carga como mostrado na Fig. 2. O dente deverá sofrer uma carga no terço incisal da região palatina do incisivo superior com uma inclinação de 45° em relação ao eixo do dente, simulando o contato oclusal cêntrico com o dente antagonista (Holmes, D. C., 1996). O valor da carga ficará entre 30N e 35N.

Este sistema de carga é constituído por: uma célula de carga, uma guia para aplicação de carga, suporte para o modelo que oferece uma variação de ângulo, uma guia para posicionamento do ponto de aplicação de carga; isto tudo montado em uma placa.

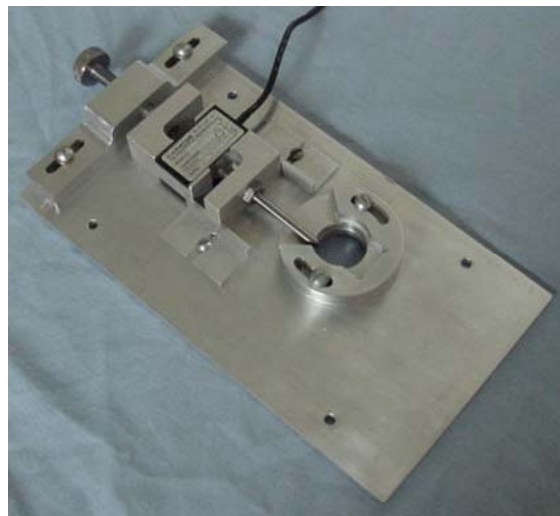


Fig. 2 – Sistema de carga montado com a célula de carga

5. METODOLOGIA DE ENSAIOS FOTOELÁSTICOS NOS MODELOS

5.1. Padronização dos modelos fotoelásticos

A padronização dos modelos fotoelásticos foi obtida com a utilização de uma máquina de cortes de modelos fotoelásticos existente no Laboratório de Projetos mecânicos (projeto de Iniciação Científica de Cleudmar Amaral de Araújo - Processo 103780/87/4 – CNPq de julho/1988 a março/1989). O sistema de corte utiliza um gabarito de metal que foi projetado e construído especificamente para os modelo em questão. O gabarito e a máquina de corte podem ser vistos na (Fig. 3).

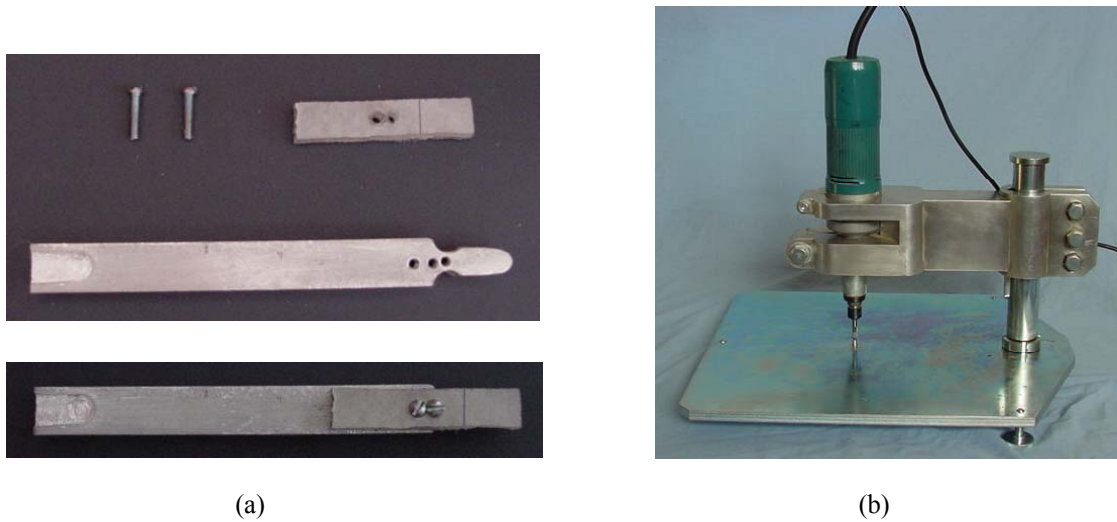


Fig. 3 – (a) Gabarito de corte; (b) mesa de corte de modelos fotoelásticos

Os furos para fixação dos pinos também foram padronizados, utilizando uma furadeira de bancada para fazer uma pré-furação em todos os modelos (com isto, a furação final com a broca desejada segue uma posição fixa).

A preparação final do canal é feita utilizando as brocas e aparelhagem adequada para cada pino.

5.2. Recozimento do Material Fotoelástico

A placa de PSM-1 (adquirida da *Photolastic*) foi recozida com cuidado, e estarão livres de birrefringência inicial exceto imediatamente junto às bordas serradas.

Como há a necessidade de se eliminar as tensões (as franjas) resultado da confecção do orifício (Fig. 4), foi feito um recozimento no material fotoelástico.

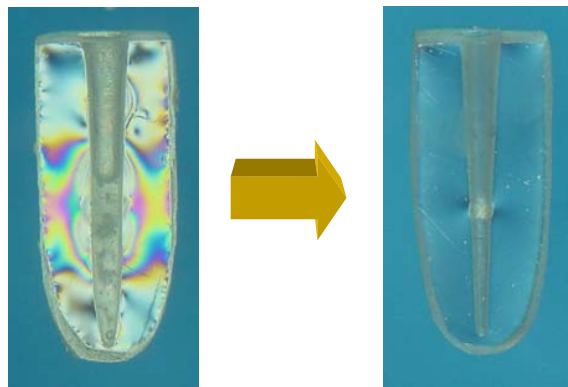


Fig. 4 – Modelo com tensões congeladas e modelo após o recozimento

1. Coloca-se uma placa lisa (de vidro) no forno para suportar o modelo durante o ciclo do recozimento.
2. A fim permitir a expansão e a contração do modelo, revestiu-se a superfície da placa com óleo mineral. O óleo utilizado foi o óleo de silicone.
3. Coloca-se o modelo na placa, foi assegurado que o modelo esteja livre para deslizar em todos os sentidos sem restrição.
4. Partindo da temperatura ambiente, aumentou-se a temperatura do forno para 250°F em uma taxa de aproximadamente 10°F por hora. Manteve-se esta temperatura por 24 horas, e então foi aumentado a temperatura para 315°F na mesma taxa que antes. Permitiu-se que o modelo fique imerso nesta temperatura por três horas. Após este período, o forno foi refrigerado lentamente,

aproximadamente em 5°F por hora, até 250°F. A taxa de resfriamento foi modificada para 10°F por a hora até o forno retornar à temperatura ambiente.

5.3. Calibração do Material Fotoelástico

Para a calibração do material fotoelástico PSM-1, utilizou-se um disco deste material. Seguindo a equação da Lei Ótica das Tensões e utilizando o Método de Compensação de Tardy, pôde-se obter a constante ótica do material:

$$K\sigma = 6,965270 \text{ N/mm}$$

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Definiu-se as cinco regiões (Fig. 5) a serem medidos os parâmetros fotoelásticos. Estas são:

- Região 1 – Terço cervical vestibular
- Região 2 – Terço cervical lingual
- Região 3 – Terço médio lingual
- Região 4 – Terço apical lingual
- Região 5 – Terço médio vestibular

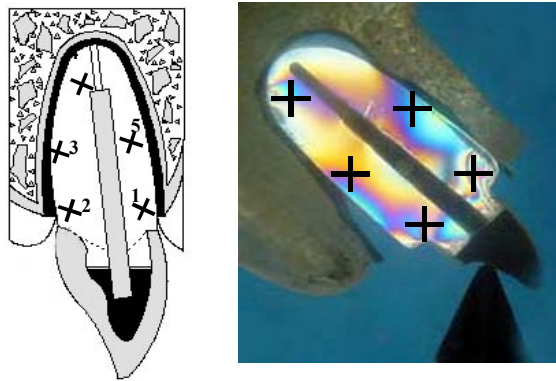


Fig. 5 – Regiões onde foram feitas as leituras

Foram cimentados os seguintes pinos no modelo fotoelástico: Titânio, Metálico fundido, Flexi-Post-Rosqueável, Fibra de carbono, Cerâmica-Zircônia e Fibra de vidro.

Para cada modelo aplicou-se uma carga entre 30N e 35N.

Com a espessura do modelo, a constante fotoelástica do modelo, e o parâmetro das isocromáticas (média), calculou-se o valor da diferença das tensões principais e da tensão cisalhante máxima em cada região definida anteriormente (Tabelas 2 a 7).

Tabela 2 – Valores encontrados para o pino de Titânio

REGIÃO	CARGA (N)	N	ϕ (°)	$\sigma_1 - \sigma_2$ (MPa)	τ MÁX (MPa)
1	35,512	2,01	56,7	2,545	1,2725
2	34,924	1,29	12,3	1,634	0,8170
3	34,531	1,21	44,3	1,532	0,7660
4	34,139	1,33	77,3	1,684	0,8420
5	34,629	1,04	10,7	1,317	0,6585

Tabela 3 – Valores encontrados para o pino Metálico Fundido

REGIÃO	CARGA (N)	N	ϕ (°)	$\sigma_1 - \sigma_2$ (MPa)	τ MÁX (MPa)
1	35,610	1,77	53,7	2,241	1,1205
2	35,218	1,10	54,7	1,393	0,6965
3	34,924	1,01	42,0	1,279	0,6395
4	34,825	1,56	77,7	1,976	0,9880
5	34,727	0,53	25,0	0,671	0,3355

Tabela 4 – Valores encontrados para o pino Flexi-Post-Rosqueável

REGIÃO	CARGA (N)	N	ϕ (°)	$\sigma I - \sigma 2$ (MPa)	τ MÁX (MPa)
1	32,275	1,50	45,7	1,900	0,9500
2	31,392	1,39	10,3	1,760	0,8800
3	31,196	1,24	44,0	1,570	0,7850
4	31,000	1,69	10,0	2,140	1,0700
5	30,803	0,78	82,0	0,988	0,4940

Tabela 5 – Valores encontrados para o pino de Fibra de Carbono

REGIÃO	CARGA (N)	N	ϕ (°)	$\sigma I - \sigma 2$ (MPa)	τ MÁX (MPa)
1	32,962	1,82	57,7	2,305	1,1525
2	32,569	1,36	17,0	1,722	0,8610
3	32,373	1,21	44,7	1,532	0,7660
4	32,177	1,17	77,0	1,482	0,7410
5	31,784	1,05	18,7	1,330	0,6650

Tabela 6 – Valores encontrados para o pino de Cerâmica – Zircônia

REGIÃO	CARGA (N)	N	ϕ (°)	$\sigma I - \sigma 2$ (MPa)	τ MÁX (MPa)
1	34,531	1,67	54,3	2,115	1,0575
2	33,943	1,28	13,3	1,621	0,8105
3	33,648	1,30	43,0	1,646	0,823
4	33,452	1,61	48,3	2,039	1,0195
5	33,158	0,26	69,7	0,329	0,1645

Tabela 7 – Valores encontrados para o pino de Fibra de Vidro

REGIÃO	CARGA (N)	N	ϕ (°)	$\sigma I - \sigma 2$ (MPa)	τ MÁX (MPa)
1	33,158	2,13	49,0	2,697	1,3485
2	32,471	1,37	16,0	1,735	0,8675
3	32,177	1,26	42,0	1,596	0,7980
4	31,883	1,64	75,7	2,077	1,0385
5	31,784	0,92	17,7	1,165	0,5825



Fig. 6 – Pino de fibra de carbono



Fig. 7 – Pino de fibra de vidro



Fig. 8 – Pino de cerâmica



Fig. 9 – Pino metálico fundido



Fig. 10 – Pino de titânio



Fig. 11 – Pino de aço inoxidável

Nestas figuras é possível analisar a distribuição de tensão causada por cada pino intrarradicular

Na (Fig. 6) pode-se verificar que ocorre uma melhor distribuição de tensão. Já os pinos metálicos (Fig. 9, 10 e 11) e de cerâmica (Fig. 8) apresentam uma distribuição diretamente influenciada pela interface pino-material fotoelástico.

7. CONCLUSÕES

Foi projetado e construído um sistema de carga, que permite simular a aplicação de carga no incisivo central superior.

Foi estabelecida uma metodologia para a confecção dos modelos, que inclui usinagem, recozimento e montagem dos modelos. É importante ressaltar que não se deve manipular o PSM-1 de qualquer forma pois, caso contrário, este poderá danificar-se, prejudicando a leitura dos parâmetros fotoelásticos.

Os pinos foram cimentados para a análise qualitativa e quantitativa da distribuição de tensão nos diferentes sistemas de pinos intrarradiculares.

Nota-se que os valores máximos da diferença de tensões principais e a tensão cisalhante máxima se situam no Terço cervical vestibular e no Terço apical lingual (regiões 1 e 4 respectivamente) em todos os pinos intrarradiculares. Definem-se, desta maneira, as regiões mais críticas, ou seja, são estas regiões onde ocorrerá possíveis falhas.

Pode-se concluir também que para os modelos de pinos metálicos e de cerâmica há um acúmulo de tensões na região de interface pino-material fotoelástico. Por esta razão, pode-se afirmar que os melhores pinos intrarradiculares são o de fibra de vidro e o de fibra de carbono.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DALLY, J. W. and RILEY W. F., Experimental Stress Analysis, McGraw-Hill, 1978.
2. DURELLI, A.J. & RILEY, W.F. "Introduction to Photomechanics", Prendice-Hall, 1965.
3. PLOUZENEC, N., DUPRÉ, J.C., LAGARDE, A. . "Whole Field Determination of Isoclinic and Isochromatic Parameters", Exp. Techniques, 23 (1), pp. 30-33,1999.
4. HOLMES, D. C.et al, "Influence of Post Dimension on Stress Distribution in Dentin", J. Prosthet. Dent., v.75, nº 2, p.140-147, 1996.
5. OLIVEIRA, S. A. G. e H. A. GOMIDE, Fotoelasticidade Plana – Material e Técnica, 9º CBECIMAT, P606-614, Águas de São Pedro-SP, dezembro de 1990.

STRESSES DISTRIBUTION IN UPPER INCISORS RESTORED WITH DIFFERENT POSTS SYSTEM USING PHOTOELASTIC TECHNIQUE

Thiago Caixeta de Araujo

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila nº 2160, Campus Santa Mônica – Bloco 1M – Uberlândia – MG.

tcaixeta@mec.ufu.br

Luana Cristina Araújo de Oliveira

Faculdade de Odontologia de Araraquara, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rua Humaitá nº 1680, Centro, Araraquara – SP.

luana@umuararama.ufu.br

Sonia Aparecida Goulart Oliveira

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila nº 2160, Campus Santa Mônica – Bloco 1M – Uberlândia – MG.

sgoulart@mecanica.ufu.br

Anthony Abrahão

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila nº 2160, Campus Santa Mônica – Bloco 1M – Uberlândia – MG.

anthony@mecanica.ufu.br

Abstract: *This work proposes to develop a experimental methodology and procedures for the analysis of stresses distribution in the radicular dentin of incisors restored with different posts systems, using Photoelastic Technique. This analysis is conducted for the following posts systems: zirconium, stainless steel, titanium and cast metal (Cu-Al alloy), healthy tooth (control), fiberglass and carbon fiber. For this purpose, representative two-dimensional models are built and subject to a 30N load applied at the tip of the crown, at 45° from the axis along the tooth. The analysis of these results shown that, the pin system made of zirconium, stainless steel, titanium and cast metal produced high stress concentration at the post/dentin interface region. However, in the carbon fiber and fiberglass pins the stress distribution along the radicular surface is uniform, lacking stress concentration areas. The non-metallic pins are better than the metallic pins, since they provide a mechanical behavior more similar to that of the dental structure, reducing the probability of failure or fracture.*

Keywords: *Analysis of stresses, Post systems, Photoelastic technique.*