

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ODONTOLÓGICAS**

**CONDICIONAMENTO DA SUPERFÍCIE DE PINOS DE FIBRA
DE VIDRO: INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA ADESIVA APÓS
CICLAGEM MECÂNICA E NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO
DOS PINOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Marina Amaral

**Santa Maria, RS, Brasil
2010**

**CONDICIONAMENTO DA SUPERFÍCIE DE PINOS DE FIBRA
DE VIDRO: INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA ADESIVA APÓS
CICLAGEM MECÂNICA E NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO
DOS PINOS**

Por

Marina Amaral

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências Odontológicas.**

Orientador: Prof. Adj. Dr Luiz Felipe Valandro

**Santa Maria, RS, Brasil
2010**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ciências odontológicas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a dissertação de Mestrado

**CONDICIONAMENTO DA SUPERFÍCIE DE PINOS DE FIBRA
DE VIDRO: INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA ADESIVA APÓS
CICLAGEM MECÂNICA E NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO
DOS PINOS**

elaborada por
Marina Amaral

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciências Odontológicas

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Adj. Dr. Luiz Felipe Valandro
(Presidente/Orientador)

Prof^a. Adj. Dra. Letícia Borges Jacques (UFSM)

Prof. Tit. Marco Antonio Bottino (UNESP)

Santa Maria, 06 de novembro de 2010.

Dedico esta dissertação:

À Deus, por sempre ter me guiado, iluminado meus passos e ter colocado pessoas tão maravilhosas e especiais em minha vida.

Aos meus pais, Vera e Olacir, sempre muito presentes, me acompanhando, apoiando, corrigindo e me dando todo suporte necessário, mesmo agora, de longe, e mesmo sem pedido explícito, para que cada conquista fosse possível. Vocês são minhas referências primárias. Tenho muito orgulho de vocês.

Às minhas irmãs, Renata, Eliana e Camila, pelas conversas, pela convivência, e apoio sempre. Em especial à Camila, pelo apoio incondicional, sempre que solicitada, nos mais diversos momentos, pelos mais diversos motivos.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

À minha família, por ter me dado toda base necessária para que eu tivesse suporte para correr atrás dos meus sonhos. Aos meus pais, me proporcionando o necessário, não medindo esforços pra me educar. E às minhas irmãs, sempre me guiando pelo caminho certo, e me acompanhando, mesmo a distância, em todas as etapas dessa jornada.

Ao meu orientador, Prof. Adj. Dr. Luiz Felipe Valandro, pela confiança depositada ao acolher-me como orientada desde a graduação, durante a iniciação científica, durante o mestrado, e agora, também durante o doutorado, sempre sendo meu exemplo de dedicação e competência. Seu apoio e atenção foram os alicerces dessa jornada. Agradeço pela confiança depositada em mim, e embora acredito ser impossível, espero algum dia poder retribuir de alguma forma todo o apoio e esforço.

Aos amigos Professor Felipe e Professora Karla, pela amizade, pelas conversas sobre meu futuro, as jantãs, por sempre me receberem muito bem em sua casa, pela amizade e pelas mais diversas orientações, sempre ouvidas com atenção por mim. Poder conviver com vocês é um grande prazer.

À Jéssica, secretária do programa de pós-graduação, não só pela enorme ajuda, mas também pela amizade e momentos agradáveis.

Às amigas e colegas de pós-graduação, Pâmela, Marília, Marina, Luciane, Tamara, Patrícia e Anelise pelas discussões científicas em aula, ou as conversas descontraídas no café. Em especial à Marília, pela amizade valiosa, pelo apoio quase incondicional, principalmente durante o estágio POCAD, me dando suporte em Santa Maria, e me recebendo como hóspede em sua casa. Tenho certeza que a presença de vocês engrandeceu minha formação, e sou muito grata por isso.

Aos meus colegas Manuela e Vinícius pela companhia desde o início desta caminhada, sempre oferecendo ajuda e melhorando os momentos de trabalho. A

companhia de vocês foi, e ainda é fundamental. Vocês são pessoas muito importantes para mim.

Aos colegas do grupo: Emília, Carol, Ariele, César, e Mariane, pela amizade, convivência, discussões e apoio. Em especial, à Mariane, pelo apoio na execução deste trabalho: tua ajuda e companhia foram fundamentais, Mari.

As “meninas do apartamento 55”, em São José dos Campos, Liliana, Paula e Susana por me receberem tão bem durante o PROCAD, e me ensinarem os caminhos corretos nessa nova etapa. A amizade de vocês tem muito valor para mim, e me considero uma pessoa de muita sorte por estar tendo a oportunidade de conviver mais de perto com vocês, por ter ganhado uma nova família. A companhia de vocês e o “clima de casa” atenuam muito a ausência da minha família e a minha saída de casa.

Aos amigos Gisele, Joanna e Rodrigo, pela companhia, conselhos, momentos de descontração e hospitalidade, mantidos desde a graduação. A distância não atenuou nossa amizade, e fico muito feliz com isso.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Curso de Odontologia e ao Centro de Ciências da Saúde, entidades que materializaram a possibilidade da minha formação em Odontologia.

Ao CNPQ (Centro Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela concessão da bolsa de Iniciação Científica durante a graduação, e de Mestrado, para realização deste trabalho.

À Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior), pela concessão de auxílio para estágio PROCAD (Programa de Cooperação Acadêmica), que me possibilitou a convivência em outro centro de ensino superior durante execução do mestrado.

Ao programa de Pós-Graduação em Odontologia Restauradora, e à Especialidade Prótese Dentária, da Universidade estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP São José dos Campos, por me receber através do PROCAD. Em especial ao Prof. Tit. Marco Antônio Bottino, por me receber no programa, pelo apoio e orientação durante o estágio.

À coordenação do programa de pós-graduação em Ciências Odontológicas nas pessoas do Prof. Adj. Dr. Paulo Afonso Burmann, e Prof^a. Adj. Dr^a. Roselaine Terezinha Possobon.

À secretaria do PPGCO, na pessoa da secretária Jéssica Dalcin da Silva, quem exerce funções além de seu dever, sempre com muita disposição em ajudar; e pela amizade desenvolvida durante esses dois anos.

Aos funcionários da Universidade Federal de Santa Maria, Ivan, Marcelo e Enio, Cleidi e Éder; pela assistência e amizade.

Ao prof. Aleir Fontana de Paris, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria, por sua atenção, disponibilidade e ensinamentos durante as análises de microscopia eletrônica de varredura.

Ao prof. Adj. Dr. Osvaldo Bazzan Kaizer, pelas orientações durante o estágio em docência, e o enriquecimento deste trabalho como banca da minha qualificação.

Aos professores Thiago Machado Ardengui e Rachel Rocha, pelas valiosíssimas orientações passadas durante, ou além das aulas.

Aos demais professores do programa de pós-graduação em Ciências Odontológicas: Alexandre Henrique Susin, Kátia Olmedo Braun, Letícia Borges Jacques, Renésio Armino Grehs, Paulo Afonso Burmann, Roselaine Terezinha Pozzobon, Beatriz Unfer, Carlos Heitor Cunha Moreira, Karla Zanini Kantorski.

Aos meus colegas de curso em Santa Maria: Marília, Pâmela, Luciane, Marina, Tamara, Anelise, Patrícia, Renata, Paloma, Cristiane, Luiz Felipe, Simone, Pedro, e aos colegas da turma anterior, Raquel, Tathiana, Chaiana, Ricardo, César e Jovito, pela companhia em momentos diversos, pelos momentos de discussão e descontração.

Aos meus colegas em São José dos Campos: Paula, Susana, José Renato, Lilian, Renata, Sabrina, Priscila, Lucas Hian, Humberto, Pedro, Silvinha, Regina, Flávia e Vanessa pela companhia agradável e conversas enriquecedoras em aula e laboratório.

As demais pessoas que de forma direta e indiretamente me apoiaram para conclusão desta etapa, o meu MUITO OBRIGADO!!!

"Nunca é tarde para tentar o desconhecido.

Nunca é tarde para ir mais além."

Gabriele D'Annunzio

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas
Universidade Federal de Santa Maria

CONDICIONAMENTO DA SUPERFÍCIE DE PINOS DE FIBRA DE VIDRO: INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA ADESIVA APÓS CICLAGEM MECÂNICA E NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO DOS PINOS

AUTORA: MARINA AMARAL

ORIENTADOR: LUIZ FELIPE VALANDRO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 06 de novembro de 2010.

Objetivo: O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência adesiva entre pino de fibra de vidro e dentina intrarradicular ou resina composta do núcleo após diferentes tratamentos de superfície dos pinos, e a influência do tratamento de superfície da resistência à flexão dos pinos. **Materiais e Métodos:** Os seguintes métodos para tratamento da superfície dos pinos foram avaliados: G1- sem tratamento; G2- limpeza com álcool; G3- limpeza com álcool + aplicação de silano (SIL); G4- Al_2O_3 125 μm + SIL; G5- H_2O_2 + SIL; G6- HF + SIL; G7- H_3PO_4 + SIL. Dez pinos de fibra de vidro duplo-cônicos condicionados com cada um dos tratamentos listados acima ($n=10$) foram cimentados em raízes bovinas, embutidas perpendicularmente em resina acrílica. Após, um núcleo cilíndrico padronizado foi reconstruído em resina composta. Os corpos de prova foram submetidos a 10^6 ciclos mecânicos (100 N, 4 Hz, 37°C , 45°) antes de serem seccionados em fatias de 2 mm de espessura. Para a porção radicular, a resistência adesiva foi medida através do teste de extrusão *push-out*, enquanto que para a resistência adesiva da porção coronária, foi utilizado o teste de microtração com espécimes em forma de ampulheta. Para avaliação da resistência à flexão, pinos com os tratamentos correspondentes aos grupos G1, G4, G5, G6 e G7 ($n=5$) foram submetidos ao teste de flexão de três pontos. Além disso, dois pinos com tratamentos de superfície destes grupos foram cobertos com ouro e submetidos à análise em MEV. Análise de variância 1-fator foi aplicada para cada uma das avaliações, seguida do teste de Tukey para contraste de médias ($\alpha=0,05$). **Resultados:** Para retenção no canal radicular, a modificação da superfície dos pinos não foi relevante ($p=0,876$). Porém, a adesão entre pino de fibra e resina composta foi estatisticamente afetada pelos tratamentos de superfície ($p<0,001$), sendo do G3 os maiores valores de resistência adesiva à microtração. O fator de estudo também afetou a resistência à flexão: Al_2O_3 125 μm apresentou diminuição significativa na resistência dos pinos. Sob análise em MEV, diferentes padrões de superfície foram observados após condicionamentos. **Conclusões:** (1) a retenção do pino no canal radicular não foi afetada pelos tratamentos sugeridos, porém a aplicação de silano na superfície do pino parece aumentar a retenção do núcleo de resina composta; (2) o jateamento da superfície dos pinos com Al_2O_3 125 μm pode ser danoso para as propriedades de flexão dos pinos; e (3) diferentes padrões de morfologia de superfície foram observados sob MEV.

ABSTRACT

Post surface conditioning: effect on bond strength to composites after aging and on flexural strength of fiber posts.

Aim: To evaluate the bond strength between glass fiber post and intrarradicular dentin or core composite resin after several post surface treatments, and the effect of surface treatments on posts' flexural strength. **Material and methods:** The following post surface treatments were evaluated: G1- no conditioning; G2- cleaning with alcohol (AL); G3- AL + silane application (SIL); G4- Al₂O₃ + SIL; G5- H₂O₂ + SIL; G6- HF + SIL; G7- H₃PO₄ + SIL. Ten double-tapered fiber posts from each evaluated surface treatment were cemented into bovine teeth previously embedded into acrylic resin. After, a standard composite resin cylindrical core was build up. Samples were submitted to mechanical cycling (10⁶ cycles, 4 Hz, 37°C) and sectioned into 2 mm slices. For root portion the bond strength was measured through push-out test, while core slices were machined into hour-glasses and submitted to microtensile bond strength test. The three point bending test was applied to cylindrical posts from G1, G4, G5, G6 and G7, to flexural strength evaluation. Moreover, two posts from these groups were conditioned for scanning electron microscopy (SEM). One-way analysis of variance followed by Tukey's test were applied to each evaluation ($\alpha=0,05$). **Results:** the post surface conditioning had no effect on post retention into root canal ($p=0,876$), however the microtensile bond strength between post and composite resin was significantly affected ($p<0,001$), where G3 presented the highest values of bond strength. The flexural strength was also influenced by post surface conditioning, where sandblasting with Al₂O₃ 125 μ m significantly decreased the posts' strength. The analysis through SEM revealed different patterns of surface's modification after conditioning. **Conclusions:** (1) post retention into root dentin was not affected by post surface conditioning, but silane application promotes higher microtensile bond strength between post and composite resin; (2) sandblasting posts' surface with Al₂O₃ 125 μ m decreased posts' flexural strength; and (3) different patterns of surface conditioning were observed under SEM.

Key Words: bonding effectiveness, fiber post, root dentin, post-and-core technique, push-out bond strength

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	p. 12
REVISÃO DE LITERATURA	p. 15
OBJETIVOS.....	p. 25
HIPÓTESES.....	p. 26
MATERIAIS E MÉTODOS	p. 27
RESULTADOS.....	p. 36
DISCUSSÃO	p. 42
CONCLUSÕES	p. 51
REFERÊNCIAS.....	p. 52
RELEVÂNCIA CLÍNICA.....	p. 53

INTRODUÇÃO

A realização de reconstrução coronária de dentes endodonticamente tratados, parcial ou totalmente destruídos, com resina composta, associada à ancoragem intrarradicular com pinos feitos de polímero reforçado por fibra de carbono, quartzo ou vidro (FRC) vem aumentando desde sua introdução como alternativa para restauração de dentes tratados endodonticamente (Duret et al. 1990; Monticelli et al. 2006; Assif et al. 1994). Embora estas restaurações venham mostrando bons resultados, algumas falhas têm sido relatadas, como deslocamento do conjunto cimento-pino-núcleo do canal radicular, bem como deslocamento do núcleo de resina composta do pino (Glazer et al. 2000; Malferrari et al. 2003). O sucesso destas restaurações depende não apenas do material selecionado para confecção do núcleo, mas também da adesão gerada entre as superfícies envolvidas (dentina-cimento-pino/ resina composta-pino) (Monticelli et al. 2006; Aksornmuang et al. 2004).

Embora a adesão no canal radicular represente o ponto mais crítico da restauração (segundo Monticelli et al. 2008, a falha adesiva mais frequente é na interface cimento/dentina), a boa adesão entre pino e cimento também é importante para uma distribuição mais homogênea das forças a fim de minimizar o risco de fratura radicular (Asmussem et al.1999; Lanza et al. 2005; Pegoretti et al. 2002), o que salienta a importância da obtenção de uma boa adesão entre um material com propriedades favoráveis (pino de fibra) e o substrato dentário. Além disso, a adesão entre pino e compósito contribui de forma relevante na retenção de pinos para ancoragem intrarradicular (Balbosh & Kern, 2006).

Avanços na odontologia adesiva têm resultado no desenvolvimento de técnicas de condicionamento tanto para substratos dentais quanto para materiais restauradores (Vano et al. 2006; Valandro et al. 2006a; Soares et al. 2008). O tratamento de superfície é um método bastante comum, que visa melhorar as propriedades adesivas dos materiais, facilitando a retenção química e micromecânica entre diferentes constituintes de restaurações dentárias (Vano et al. 2005, Soares et al. 2008a; Yenisey & Kulunk, 2008).

Vários tipos de tratamento de superfície têm sido sugeridos a fim de aumentar a adesão entre cimento resinoso - pino e resina composta - pino. O intuito destes

tratamentos é promover maior rugosidade de superfície e maior interação química entre os componentes da interface, que, em geral, podem ser alcançados a partir da realização de 3 categorias de tratamento: 1- químico (aplicação de ácidos, por exemplo), 2- físico (como o jateamento) e 3- associação de métodos físicos e químicos (Aksornmuang et al. 2004).

Alguns métodos de condicionamento de superfície têm sido propostos a fim de otimizar a adesão da resina à superfície do pino (Monticelli et al. 2006; Goracci et al. 2005). O jateamento com óxido de alumínio e sílica parece ser uma boa opção para o condicionamento superficial de pinos de fibra: a pressão proporcionada pelo jateamento impregna a superfície do pino com partículas de sílica, e a aplicação do agente silano torna a superfície mais reativa à resina (Valandro et al. 2006a). Outras possibilidades seriam: o condicionamento com ácido fluorídrico, que atacaria a superfície da fibra de vidro do pino, expondo a sílica, tornando a superfície reativa ao silano; ou ainda, a imersão do pino em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) associada à aplicação de silano (Vano et al. 2006).

Além disso, a aplicação de silano como agente promotor de adesão na interface pino-compósito tem resultado em efeito positivo em vários trabalhos (Goracci et al. 2005; Magni et al. 2007; Soares et al. 2008). Porém, estes dados foram obtidos a partir de testes estáticos, que não simularam a condição oral.

Segundo Monticelli et al. (2008), poucas investigações incluem procedimentos de 'envelhecimento', os quais tem como objetivo avaliar o impacto do tempo na resistência de união entre material restaurador e substrato dental. O teste de fadiga pode prever o desempenho clínico de técnicas restauradoras; normalmente o teste é conduzido em ambiente úmido, o que contribui para a degradação de propriedades físicas e mecânicas dos materiais restauradores. Em um teste de fadiga mecânica, 10^6 ciclos correspondem a aproximadamente um ano de função clínica (Wiskott et al. 1995). A maior vantagem dos testes de fadiga é a sua versatilidade, visto que podem prever, em um curto período de tempo, o desempenho clínico em longo prazo, tanto de materiais como de técnicas restauradoras (Bottino et al. 2007; Valandro et al. 2007).

Porém, apesar de otimizar a adesão, alguns autores questionam o fato de que as propriedades físicas dos pinos podem ser afetadas pelos condicionamentos de superfície aplicados (D'Arcangelo et al. 2007; Soares et al, 2008a, Valandro et al. 2006). Por exemplo, o uso de ácido fluorídrico, devido a seu efeito extremamente

corrosivo sobre o vidro/fibra, poderia causar alterações nas propriedades do pino (Mazzitelli et al. 2008).

Ainda são poucas as evidências da real influência do condicionamento de superfície de pinos de fibra sobre suas propriedades (D'Arcangelo et al. 2007; Galhano et al. 2005). Assim, é importante investigar este possível impacto, visto que a degradação precoce das propriedades mecânicas dos pinos pode afetar a longevidade das restaurações (Lassila et al. 2004, Lanza et al. 2005; Pegoretti et al. 2002; Pierrisnard et al. 2002; Ukon et al. 2000).

Dentro dessa abrangência, o presente estudo tem como proposta avaliar diferentes métodos de condicionamento de superfície de pinos de fibra, no que diz respeito a seu efeito na resistência adesiva e à flexão dos pinos.

REVISÃO DE LITERATURA

A intenção de se obter uma estrutura do tipo monobloco na reconstrução de elementos dentários é responsável pelos inúmeros estudos que objetivam otimizar a adesão nas interfaces, sejam elas quais forem. O termo monobloco, literalmente, significa uma única unidade. Tay & Pashley, em 2007, definiram como monobloco secundário uma estrutura apresentando duas interfaces circunferenciais, como no caso entre dentina-cimento-pino de fibra. Para o funcionamento bem sucedido, os materiais que formam esta unidade devem ter capacidade de adesão forte e mútua, assim como ao substrato onde estão inseridos, além de módulos elásticos semelhantes entre materiais e substrato.

Em uma revisão de literatura publicada em 2008, Monticelli et al. investigaram estudos sobre condicionamento de superfície de pinos, com o objetivo de avaliar métodos eficientes de aumento da resistência adesiva entre pino e compósito. Os dados coletados pelos autores foram divididos em três categorias: (1) tratamentos que resultam em adesão química entre pino e compósito; (2) tratamentos que objetivam tornar a superfície do pino mais rugosa (jateamento ou condicionamento) ou (3) combinação de métodos micromecânicos e químicos utilizando ambos os métodos citados acima (como o sistema Cojet, 3M/ESPE). Constatou-se que grande parte das pesquisas foram conduzidas utilizando-se os testes de microtração e push-out em combinação com análise microscópica. Os autores concluíram que a combinação entre retenção química e micromecânica na superfície do pino pode ser a alternativa mais indicada para uma melhor adesão. Porém, pouca informação está disponível sobre tratamentos de superfície químico-mecânicos aplicados a fim de melhorar ou modificar a área de superfície disponível para adesão.

Radovic et al. (2007) utilizaram o teste de microtração para avaliar a resistência adesiva entre pino de fibra de vidro e uma resina composta de presa dual, variando o tipo de tratamento de superfície associado à aplicação de silano ou adesivo. Os pinos receberam como tratamento prévio: jateamento (Sistema Rocatec) ou nenhum tratamento. E como segunda etapa, em cada um dos dois grupos, os pinos receberam um dos seguintes tipos de tratamento adicional: aplicação de silano, de adesivo ou nenhum complemento. A resina composta foi aplicada sobre o

pino para formar cilindros, e após o corte, a microtração foi realizada. O pré-tratamento só se mostrou significativo quando associado ao tratamento adicional. O grupo que não recebeu tratamento adicional se mostrou semelhante ao que recebeu aplicação de silano, enquanto o adesivo diminuiu os valores de resistência adesiva. Os autores levantaram a questão de que como a interação química silano/pino de fibra é considerada baixíssima, o aumento de molhabilidade da superfície causado pelo silano parece ser importante no processo de adesão. Já a camada de adesivo apresentou falhas na interface com o pino, o que pode ter causado a diminuição da resistência adesiva.

Goracci et al., em 2005, utilizaram dois tipos de pinos de fibra (vidro e quartzo) a duas resinas compostas fluidas (UnifilFlow e Tetric Flow) para confecção do núcleo de preenchimento, e também avaliaram a aplicação de silano para verificar a adesão entre estes materiais através da microtração. Os resultados não foram significativos para o tipo de pino ou de resina composta, mas o achado mais interessante deste estudo foi que, com qualquer combinação entre pino e resina composta, a resistência adesiva interfacial foi significativamente aumentada quando o pino recebeu aplicação preliminar do agente silano. Visto que, a sílica presente na fibra de vidro não está exposta superficialmente para interação direta com o agente silano, o aumento nos valores de adesão não poderia ser atribuído a este fato. Então, o mecanismo mais provavelmente envolvido seria o aumento da molhabilidade da superfície (como citado anteriormente por Radovic et al. 2007), causado pela aplicação de silano. Outro fato relevante neste estudo é de que corpos de prova que receberam silanização apresentaram menor quantidade de falhas prematuras (fratura durante preparo para o teste de microtração).

Mazitelli et al., em 2008, publicaram um artigo sobre análise microscópica da rugosidade de superfície de pinos de fibra. Após diferentes métodos de condicionamento (peróxido de hidrogênio 10% (20 min) e 30% (10 min), etóxido de sódio 21% (20 min), permanganato de potássio, ácido fluorídrico 4% (1 min), jateamento e cobertura com silano (Sistema Rocatec, 3M ESPE), as superfícies foram submetidas à microscopia confocal e exame microscópico de força atômica; assim, a rugosidade de superfície pode ser determinada quantitativamente e convertida em leitura numérica da topografia de superfície. O ácido fluorídrico, o permanganato de potássio e o etóxido de sódio resultaram em aumento significativo da rugosidade superficial do pino, com a formação de espaços micro-retentivos e

exposição de fibras. A autora destaca a ação do ácido fluorídrico na exposição das fibras de vidro a fim de tornar a superfície reativa ao silano, porém a textura das fibras pós-condicionamento é mais irregular que nos demais tratamentos, o que leva a suspeita de possível dano à estrutura do pino.

Monticelli et al. (2006b) testaram a resistência adesiva entre pino de fibra de quartzo e resina composta. Através da micro-tração foram avaliados cinco tipos de adesivos associados ao agente silano, e constatou-se que a aplicação de silano/adesivo resultou em resistência adesiva maior e adaptação mais uniforme do compósito à superfície do pino. Porém, zonas de infiltração na interface adesiva observadas por MEV, após imersão em nitrato de prata, podem representar sítios de absorção de água, o que pode resultar em degradação da interface, ou das propriedades mecânicas do pino. Os pinos utilizados neste estudo receberam condicionamento com etóxido de sódio, o qual se mostrou capaz de dissolver parcialmente a matriz resinosa, expondo uma camada superficial de fibras de quartzo intactas.

Os mesmos autores (Monticelli et al. 2006a) utilizaram o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) nas concentrações 10% e 24% para condicionar a superfície de pinos de fibra de quartzo. O efeito de condicionamento desta substância depende de sua capacidade de dissolver a matriz resinosa. A aplicação de silano em associação com o condicionamento da superfície também foi avaliada. Após microtração, ambas as concentrações de H_2O_2 apresentaram resistências adesivas semelhantes, e significativamente melhores do que no grupo controle (sem condicionamento). Os melhores resultados foram observados com a associação de H_2O_2 e silano. A observação em MEV mostra a dissolução da matriz, com exposição de fibras de quartzo não danificadas, sendo os espaços resultantes entre as fibras zonas adicionais para retenção micromecânica.

O uso de H_2O_2 seguido de aplicação de silano também proporcionou maiores valores de resistência adesiva entre pinos de fibra de vidro e fibra de quartzo para o teste de cisalhamento. Porém, para esta geometria de ensaio, os pinos tiveram a superfície lateral planificada através de lixas, e cilindros de resina composta foram unidos às superfícies tratadas com silano e cloreto de metileno + silano, além do peróxido de hidrogênio + silano. O autor ressaltou a dissolução da matriz epóxi dos pinos, permitindo maior contato entre sílica presente na fibra – silano – resina

composta, o que provavelmente gerou maior interação química e micromecânica (Yenisey & Kulunk, 2008).

O grupo de Monticelli et al.(2006c) publicou ainda um terceiro estudo avaliando permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio 10%, etóxido de sódio 21%, permanganato de potássio + HCl 10vol.%, e silanização como grupo controle, para tratamento de superfície de pinos de fibra. O núcleo de preenchimento foi confeccionado, testando-se duas resinas compostas diferentes e o teste de microtração foi aplicado para verificar a resistência adesiva entre os materiais. Avaliação em MEV também foi conduzida, observando-se remoção da matriz epóxi do pino, com exposição de fibras de quartzo não danificadas; a resina composta preencheu os espaços gerados pela dissolução da matriz, causando embricamento entre a superfície tratada do pino e a resina de reconstrução do núcleo. Apesar de todos os métodos causarem aumento significativo dos valores, o permanganato de potássio gerou mais alto valor de resistência adesiva.

Valandro et al. (2006a) igualmente avaliaram tratamentos de superfície para pinos de fibra de quartzo: (1) condicionamento com ácido fosfórico 32% (1 min) + silano, (2) condicionamento com ácido fluorídrico 10% (1 min) + silano, e (3) Sistema Cojet (jateamento com partículas de Al_2O_3 30 μm modificadas por SiO_x + silano). Um cimento resinoso foi aplicado na superfície do pino, e foi realizado teste de microtração com corpos de prova retangulares de interface não usinada. Os valores de resistência adesiva foram afetados pelo tratamento de superfície, sendo o tratamento (3) significativamente maior que o tratamento (2) e este significativamente maior que o (1). Esta superioridade também foi observada no número de falhas prematuras, sendo que o grupo com maiores valores de adesão não apresentou falhas antes da realização do teste. A análise em MEV revelou que a superfície condicionada com ácido fosfórico não foi alterada, um padrão agressivo de condicionamento na matriz e nas fibras foi causado pelo HF, com dissolução parcial destes elementos, e uma camada de óxido de silício foi observada na superfície dos pinos submetidos ao Sistema Cojet.

Os estudos anteriores (Valandro et al. 2006a, Monticelli et al. 2006a., Monticelli et al. 2006b, Monticelli et al. 2006 c) apresentam avaliações de pinos de fibra de quartzo, enquanto Vano et al. (2005) avaliaram tratamentos de superfície para pinos de fibra de vidro. Peróxido de hidrogênio (H_2O_2 10% e 24%), ácido fluorídrico (HF) e silanização + adesivo foram avaliados como métodos de aumento

da resistência adesiva entre pino de fibra e diferentes resinas compostas. A alteração superficial pós-condicionamento foi também observada em MEV, após limpeza ultra-sônica em água deionizada por 5 minutos e imersão em etanol 96%. Para reconstrução do núcleo foram utilizadas resinas compostas dos tipos fluida, híbrida ou para núcleo. Como resultados do teste de microtração, ambas as concentrações de H_2O_2 apresentaram os maiores valores de resistência adesiva, enquanto o menor valor correspondeu ao grupo controle (apenas silanização). O tipo de resina composta não influenciou nos pinos tratados com H_2O_2 , porém para os outros grupos a resina específica para núcleo atingiu maiores valores. A análise microscópica mostrou alteração superficial gerada por H_2O_2 e HF, dos quais, o segundo causou impacto mais evidente, removendo mais matriz e danificando algumas fibras do pino, o que pode ter ocorrido pelo fato de o HF provavelmente dissolver o componente vítreo do pino de fibra.

A resistência adesiva entre cimento resinoso e pino foi influenciada por três variáveis, em um estudo conduzido por Sahafi et al. (2003): material do pino, tipo de tratamento de superfície e tipo de cimento resinoso. Três tipos de pinos pré-fabricados (titânio, zircônia e fibra de vidro) receberam diferentes tipos de tratamento de superfície: asperização (jateamento – Al_2O_3 50 μm - e ácido fluorídrico), aplicação de primer (Alloy Primer, Mettal Primer, silano) ou asperização + primer (incluindo o Sistema Cojet). Ainda foi avaliada a adesão a dois tipos de cimentos resinosos (a base de Bis-GMA ou MDP). Após realização do teste de cisalhamento, o cimento com MDP se mostrou superior ao cimento com Bis-GMA para o pino de titânio e de zircônia, e para dentina. Para qualquer um dos tipos de pino, os tratamentos de superfície aumentaram a resistência adesiva, sendo Cojet e jateamento os pré-tratamentos que promoveram maior resistência. Os autores recomendaram cautela no condicionamento com HF para pino de fibra de vidro e de zircônia, por não aumentar a resistência adesiva, ou causar efeitos negativos nesta. Enquanto o cimento contendo MDP apresentou adesão satisfatória aos três tipos de pinos, o cimento resinoso a base de Bis-GMA apresentou este resultado apenas em relação ao pino de fibra de vidro. O autor considerou que houve uma adesão química entre a resina do cimento e àquela existente entre as fibras de vidro do pino.

Os estudos relatados anteriormente utilizaram principalmente a microtração para avaliação da resistência adesiva entre pino de fibra e compósito. Porém para a dentina radicular, ótimos resultados em relação ao teste *push-out* foram encontrados

por Goracci et al. (2004). Comparando *micropush-out* e microtração com corpos-de-prova de interface usinada (forma de ampulheta) e não usinada (forma retangular), para avaliar resistência adesiva de pinos de fibra cimentados no canal radicular, os autores concluíram que o teste *push-out* se mostrou mais eficiente e confiável que ambas as versões de microtração. Esta afirmação foi feita a partir dos resultados obtidos, visto que o método de *push-out* não apresentou nenhuma falha prematura, os valores foram distribuídos normalmente (segundo o teste Kolmogorov-Smirnov) e a variabilidade ocorreu dentro de limites aceitáveis.

Soares et al. (2008b), igualmente recomendaram o teste do tipo *micropush-out* para determinação da resistência adesiva de pinos de fibra de vidro à dentina radicular. Neste trabalho foram avaliados a microtração com corpos-de-prova em forma retangular e ampulheta e o *micropush-out*. O primeiro não pôde ser testado devido ao grande número de falhas pré-teste (46/50). O *micropush-out*, além de não apresentar falhas prematuras, mostrou distribuição de tensão mais homogênea (por análise de elementos finitos) comparado à microtração em forma de ampulheta.

Quanto ao envelhecimento artificial relacionado à retenção de pinos de fibra, Balbosh et al. (2006) avaliaram quatro formas de condicionamento de superfície de pinos de fibra de vidro: limpeza ultra-sônica, limpeza ultra-sônica e primer, jateamento com partículas de alumina 50 μm , e jateamento associada a primer, na retenção do pino cimentado após envelhecimento artificial (armazenagem em 37°C/30 dias, termociclagem – 7.500 ciclos 5°C/55°C, ciclagem mecânica – 300.000 ciclos, 30N, 1,6 Hz). Os dados do teste de retenção mostraram que o jateamento (Al_2O_3 50 μm) proporcionou maior retenção dos pinos, provavelmente pelo aumento da área na interface e embricamento micromecânico entre o cimento e a superfície rugosa do pino.

Com uma metodologia semelhante de envelhecimento (7.500 ciclos térmicos entre 5 e 55°C, e 300.000 ciclos mecânicos, 1,6 Hz, 30 N, aplicação de pulsos paralelos ao pino), Albashaireh et al. (2010) observaram através de tração, que pinos tratados com jateamento de óxido de alumínio 50 μm apresentaram maior resistência adesiva comparado a pinos tratados com ácido fosfórico, ou não tratados (todos os grupos foram silanizados). O fator envelhecimento causou aumento nos valores de resistência, mas a aplicação de adesivo na superfície dos pinos não afetou os resultados. As falhas foram, em sua maioria, do tipo mista. O autor considerou que a ciclagem térmica possa ter causado um efeito compressivo na

interface pino-dentina, devido à difusão de água pela alta temperatura, levando a expansão da resina composta.

O mecanismo responsável por falha induzida por fadiga depende da ductibilidade do material utilizado: materiais quebradiços são susceptíveis a falha catastrófica, enquanto materiais dúcteis reduzem a concentração de tensão devido a sua plasticidade. Tendo em vista a frequência de fratura em restaurações, existe interesse por parte de cientistas e clínicos em avaliar a resistência à fadiga dos materiais *in vitro*. Apesar de vários materiais restauradores serem rotineiramente avaliados, pouco uso tem sido feito dos dados coletados *in vitro* sobre fadiga (Baran et al. 2001).

Wiskott et al. (1995) atribuíram a maioria das falhas mecânicas a um processo com fim catastrófico ocorrido após vários anos de função clínica. Ou seja, uma falha raramente ocorre pela aplicação de uma única carga elevada sobre as estruturas protéticas, mas sim devido ao desenvolvimento de falhas microscópicas em áreas de tensão. Estes autores estabeleceram que para aplicações odontológicas, o número mínimo de 1.000.000 de ciclos deve ser aplicado às estruturas (simulando aproximadamente um ano), quando se deseja aproximar o desempenho de um material a um serviço clínico relevante.

Segestron et al., em 2006, em um estudo retrospectivo de dentes restaurados com pinos de fibra de carbono, com acompanhamento de 6,7 anos, demonstraram 67% de sucesso para dentes restaurados com o sistema Compositopost. Apesar de o autor não estabelecer um protocolo clínico para os pacientes avaliados, e a quantidade de dentina remanescente não ser um parâmetro conhecido neste estudo, a média de tempo funcional para falha de 4,8 anos, pode ser tomada como parâmetro em situações em que se pretende simular função clínica.

Bottino et al. (2007) compararam o efeito da ciclagem mecânica sobre a resistência adesiva ao *push-out* sobre dois tipos de pinos (fibra de quartzo e zircônia) cimentados com cimento resinoso. Após 2.000.000 de ciclos, o teste de *push-out* mostrou que a resistência adesiva foi significativamente afetada apenas entre os pinos de zircônia e a dentina. O que provavelmente gerou estes resultados é o fato de que a tensão é concentrada em uma zona restrita no caso do pino rígido; ao contrário do pino de fibra, onde é mais homogeneamente distribuída nas interfaces pino de fibra - cimento - dentina radicular, com maior área suportando a carga aplicada.

Valandro et al. (2007), utilizaram pinos de fibra de vidro e fibra de quartzo cimentados adesivamente no canal radicular, para avaliar a influência da ciclagem mecânica na resistência adesiva ao teste *push-out*. Após submeter o conjunto pino/raiz à ciclagem mecânica com 20.000 e 2.000.000 de ciclos, todos os grupos experimentais foram similares entre si, ou seja, nenhum dos fatores (tipo de pino, ciclagem mecânica) afetou a resistência adesiva. Os autores salientam que, embora os corpos de prova restaurados com pinos de fibra possam ser resistentes à fadiga, podem ocorrer diferentes graus de infiltração na interface núcleo - dentina.

Segundo Asmussem et al. (1999), além de retenção estável, a boa adesão entre pino-cimento-dentina também é importante na transmissão de forças para o dente de forma que não cause susceptibilidade à fratura radicular. Os pinos de fibra apresentam comprovadamente módulo elástico semelhante à dentina, porém, no intuito de aprimorar a adesão na interface pino-cimento, é necessário dar atenção à manutenção das propriedades mecânicas originais dos pinos de fibra. Falhas de restaurações por distorção ou fratura do pino estão relacionadas às suas propriedades mecânicas, onde um limite e uma resistência elástica altos reduzem este risco.

O teste de flexão de três pontos é normalmente aplicado a pinos de fibra a fim de mensurar resistência e módulo elásticos. No estudo de Lassila et al. (2004), foi concluído que marca, termociclagem e diâmetro do pino têm influência nas suas propriedades mecânicas: a termociclagem diminuiu os valores para todas as marcas de pinos. Já a variação de diâmetro influenciou de forma inversamente proporcional a resistência e o módulo elástico. Os resultados mostram que quando o teste de flexão de três pontos é usado para medir as propriedades elásticas dos pinos de fibra, os resultados estão relacionados à proporção entre o espaçamento do vão entre as bases durante o teste (L) e o diâmetro do pino (ou da porção utilizada para o teste) (D). A recomendação é de que uma proporção alta L/D seja usada, a fim de reduzir o efeito do cisalhamento durante o teste.

A fim de medir as propriedades elásticas de diferentes tipos de pinos de fibra (carbono, carbono/quartzo, quartzo opaco, quartzo translúcido (2) e vidro (3)), Galhano et al., em 2005, igualmente utilizaram o teste de flexão de três pontos. Os pinos devem ter boa resistência à flexão e módulo elástico semelhante à dentina para serem uma boa opção clínica. Apenas a porção cilíndrica do pino foi submetida à flexão. Os pinos de fibra de carbono/quartzo e fibra de quartzo opaco

apresentaram as maiores resistências à flexão, enquanto um dos pinos de fibra apresentou os menores valores.

D'Arcangelo et al., em 2007, investigaram o efeito de três tratamentos de superfície sobre as propriedades elásticas de três tipos de pinos de fibra: vidro, sílica e quartzo. Os pinos foram submetidos à silanização, imersão em ácido fluorídrico gel 9,5% por 15 s e jateamento com partículas de óxido de alumínio (Al_2O_3 , 50 μm). A resistência à flexão e o módulo elástico foram medidos através do teste de flexão de três pontos, após ciclagem térmica. Apesar da análise microscópica ter mostrado padrões de superfície diferentes após o condicionamento, a análise estatística não apontou diferença significativa entre os valores de resistência à flexão e módulo elástico com relação ao método de condicionamento de superfície, apenas com relação ao tipo de pino.

Soares et al. (2008a) avaliaram o efeito do jateamento com Al_2O_3 50 μm sobre as propriedades de pinos de fibra de vidro e carbono, através do teste de flexão de três pontos. O teste ANOVA dois-fatores indicou diferença significativa nos valores de dureza, módulo de flexão e de elasticidade apenas em relação ao tipo de pino (carbono>vidro), apesar das fotomicrografias mostrarem que o jateamento causou alteração no pino, com rompimento da interface entre fibra e matriz, remoção parcial e fratura das fibras superficiais. Este mesmo estudo avaliou a aplicação de silano, ou silano + adesivo sobre a superfície abrasionada. No teste *push-out* para avaliação da resistência adesiva, houve diferença significativa apenas quando o tipo de tratamento de superfície foi associado ao tipo de pino utilizado, aonde, para o pino de fibra de carbono, a associação entre jateamento, silano e adesivo apresentou valores mais altos de resistência adesiva.

Valandro et al. (2006) aplicaram o teste de flexão de três pontos para avaliar a resistência à flexão de pinos de fibra de carbono, quartzo opaco e translúcido, submetidos a silicatização (jateamento com óxido de sílica 30 μm). As propriedades dos pinos não foram afetadas significativamente pelo jateamento com óxido de sílica, porém o tipo de pino foi significativo para o teste de flexão: o pino de fibra de quartzo opaco apresentou maiores valores, comparado ao pino de fibra de carbono. A análise em microscópio eletrônico de varredura mostrou superfícies eventualmente recobertas por partículas de sílica após o condicionamento, porém neste caso não foi avaliada a resistência adesiva entre pino e compósito.

Em 2001, Mannocci et al. testaram as propriedades mecânicas de cinco marcas comerciais de pinos de fibra de diferentes materiais (carbono (2), quartzo, vidro e sílica) após armazenagem em ambiente seco, a 37°C, e cimentados com cimento resinoso em raízes bovinas obturadas endodonticamente. Segundo os autores, o contato com água pode causar degradação de materiais a base de resina epóxi devido à absorção. Após um ano, o teste de flexão de três pontos foi aplicado. Todos os pinos apresentaram redução significativa na resistência à flexão após armazenagem em umidade, o que, em condições clínicas sugere evitar o contato com fluidos orais

OBJETIVOS

- (1) Avaliar o efeito do condicionamento de superfície de pinos de fibra de vidro na resistência adesiva entre pino de fibra e material resinoso (resina composta / cimento resinoso), após ciclagem mecânica;
- (2) avaliar o impacto do condicionamento de superfície dos pinos de fibra de vidro na resistência à flexão; e
- (3) observar, através de microscópio eletrônico de varredura (MEV), a morfologia de superfície dos pinos submetidos a diferentes condicionamentos de superfície.

HIPÓTESES

- (1) A aplicação de silano na superfície do pino de fibra levará a maiores resultados de resistência adesiva, tanto para a porção coronária quanto para a porção intrarradicular.
- (2) Os diferentes tratamentos não afetarão a resistência à flexão dos pinos.
- (3) Diferentes aspectos topográficos serão observados em função do tratamento de superfície dos pinos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados 105 pinos de fibra de vidro (White Post DC, FGM, Brasil) divididos em 7 grupos de acordo com o tipo de condicionamento de superfície a ser realizado (Tabela 1). Destes, 70 pinos duplo-cônicos (n=10), foram utilizados para teste de resistência adesiva; 5 pinos cilíndricos, das estratégias G1, G4, G5, G6 e G7 (sem aplicação de silano), foram utilizados para teste de resistência à flexão de três pontos; e dois pinos duplo-cônicos, das estratégias G1, G4, G5, G6 e G7 (sem aplicação de silano), foram utilizados para observação em microscópio eletrônico de varredura.

Tabela 1. Tratamentos de superfície dos FRC

Grupos	Tratamento da superfície do pino	Procedimentos
G1	Sem tratamento de superfície	--
G2	Álcool (etanol)	a
G3	Álcool + silano	a, b
G4	Al ₂ O ₃ + silano	c, b
G5	H ₂ O ₂ + silano	d, b
G6	HF + silano	e, b
G7	H ₃ PO ₄ + silano	f, b

- limpeza com álcool 96°.
- aplicação do agente silano (Ceramic Primer, 3M/ESPE, EUA) – 5 minutos de espera para evaporação do veículo
- jateamento com partículas de Al₂O₃ 125 µm (Blue Equipamentos, Brasil) (distância= 10 mm, perpendicular à superfície, tempo= 20s, pressão= 2,8 bar).
- imersão em H₂O₂ 10% durante 20 min + lavagem e secagem.
- aplicação de ácido fluorídrico 9% (HF) (Condac Porcelana, FGM, Brasil) por 1min, lavagem e secagem.
- aplicação de ácido fosfórico 37% (H₃PO₄) (Condac 37, FGM, Brasil) por 1min, lavagem e secagem.

1- Resistência adesiva

Setenta dentes bovinos unirradiculares foram selecionados, limpos com curetas periodontais, e mantidos em água destilada sob refrigeração durante utilização no estudo. Seu tamanho foi padronizado em 16 mm por meio de corte das porções coronária e cervical da raiz. O diâmetro do canal radicular na porção cervical radicular foi medido com paquímetro digital e as raízes que apresentaram condutos com diâmetros maiores que o diâmetro estimado do pino (White Post DC, # 3, FGM, Brasil) nesta região (2,0 mm), foram substituídas.

Em seguida, os canais radiculares foram limpos (lima endodôntica Flexofile #15, 1ª série, sem alargamento dos canais), irrigados com hipoclorito de sódio (Soda Clorada, Biodinamica, Brasil) (2,5%) e preparados em 9 mm, utilizando-se as brocas do sistema de pinos (White Post DC, # 3, FGM, Brasil). Os 70 pinos duplo-cônicos foram seccionados em 15 mm com broca diamantada; a porção cimentada corresponderia a 9 mm (porção preparada do conduto), sendo a porção coronária resultante do pino igual a 6 mm.

As raízes foram embutidas em matrizes cilíndricas de PVC, com 14 mm de altura e 25 mm de diâmetro, preenchidas com resina acrílica quimicamente ativada (JET, Clássico, Brasil). O longo eixo do espécime foi embutido tão perpendicular quanto possível ao plano horizontal, de acordo com os seguintes passos: (a) a broca utilizada para o preparo foi posicionada no canal radicular já preparado; (b) a broca (juntamente com a raiz) foi fixada em um delineador, de forma que o longo eixo da broca, raiz e matriz cilíndrica estivessem paralelos entre si e perpendiculares ao plano horizontal; (c) a resina acrílica foi proporcionada e vertida no interior do cilindro de PVC até uma distância de 3 mm da porção mais coronária da raiz. (Figura 1)

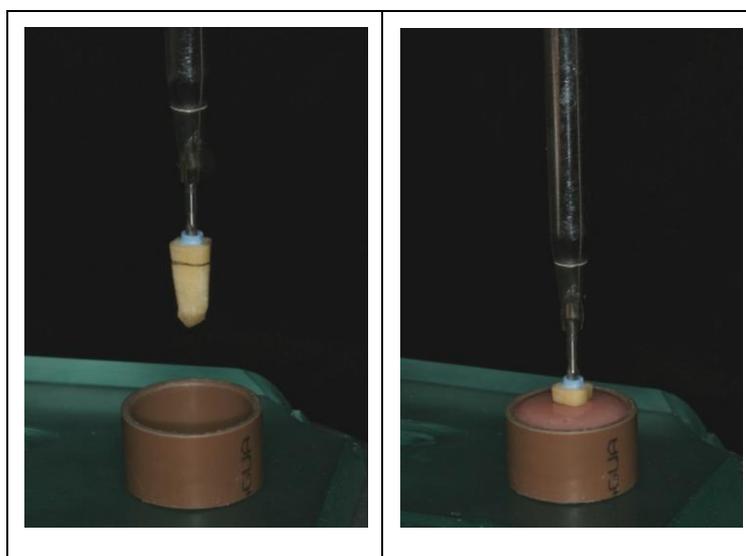


Figura 1. Embutimento da raiz em resina acrílica.

As raízes, devidamente embutidas, foram aleatoriamente designados para 7 grupos (n=10), de acordo com o tratamento da superfície do pino a ser cimentado (Tabela 1).

A cimentação foi conduzida de forma similar para os 7 grupos:

- (1) condicionamento da dentina coronária e intraradicular com ácido fosfórico 37% (Condac 37, FGM, Brasil) por 15 s, lavagem com água destilada; secagem da dentina com leve jato de ar e pontas de papel absorvente # 80 (Tanari, Brasil);
- (2) aplicação do sistema adesivo:
 - (a) aplicação do *Activator* (Scotch Bond Multi Uso Plus, 3M Espe, EUA) com auxílio de *microbrush* (Cavibrush, FGM, Brasil) durante 15 s, secagem com jato de ar durante 5 s;
 - (b) aplicação do *Primer* (Scotch Bond Multi Uso Plus, 3M Espe, EUA) com auxílio de *microbrush* (Cavibrush, FGM, Brasil) durante 15 s, secagem com jato de ar durante 5 s;
 - (c) aplicação do *Catalyst* (Scotch Bond Multi Uso Plus, 3M Espe, EUA) com auxílio de *microbrush* (Cavibrush, FGM, Brasil) durante 15 s, remoção dos excessos com cones de papel (Tanari, Brasil);
- (3) o cimento resinoso dual AllCem (FGM, Brasil) foi proporcionado utilizando-se pontas misturadoras, com aplicação direta sobre uma lentulo #40;
- (4) inserção do cimento no conduto radicular, e inserção do pino de fibra, previamente tratado logo em seguida, e o excesso de cimento foi removido;
- (5) fotopolimerização por 40 s (Radii-cal, SDI, Austrália) através da superfície oclusal do pino.

A aplicação de silano (Ceramic Primer, 3M ESPE, EUA) sobre o pino, exceto nos grupos G1 e G2, foi realizada com o auxílio de um *microbrush* descartável (Cavibrush, FGM, Brasil), a fim de se isolar o fator “tratamento de superfície”. Vale ressaltar os relatos de sucesso diante de sua utilização (Goracci *et al.* 2005; Magni *et al.* 2007; Soares *et al.* 2008).

A seguir, a reconstrução coronária foi realizada de forma padronizada, utilizando-se matrizes plásticas semelhantes, de formato cilíndrico, apresentando 6 mm de altura e 5 mm de diâmetro, com um platô em 45° em relação ao longo eixo do dente, na face correspondente à lingual, para ajuste à máquina de fadiga mecânica. As matrizes foram obtidas através da reconstrução de um único corpo de prova, semelhante aos serem confeccionados para o estudo. Este corpo de prova modelo foi moldado (Elite Double 8, Zhermak Technical, Itália), e troquéis em gesso pedra tipo IV (Dam Proben, Brasil) foram obtidos. Após, uma plastificadora foi utilizada para plastificação dos troquéis, as matrizes foram individualizadas pelo recorte dos excessos de silicone.

Para a reconstrução, seguiram-se os passos: (1) uma camada de resina composta (Opallis, FGM, Brasil) foi colocada sobre o pino já cimentado e sobre a dentina e polimerizada por 40s, (2) uma matriz foi preenchida com a resina composta e posicionada na parte coronária do dente sobre o pino cimentado e (3) foi executada fotopolimerização durante 20s em cada face (vestibular, lingual, mesial e distal), e a matriz foi removida.

Ciclagem mecânica

Durante ciclagem mecânica, os espécimes foram posicionados em uma base metálica com angulação de 45° em relação ao longo eixo da raiz, para que um atuador de base plana, fixado na haste superior na máquina de ciclagem (ERIOS 11000 Fatigue Machine, Erios, São Paulo, Brasil), aplicasse pulsos de carga entre 0 – 100 N, com frequência de 4 Hz, sobre a resina composta coronária (Figura 2). Durante a ciclagem, os espécimes permaneceram imersos em água destilada à temperatura de 37°C, regulada por meio de um termostato. As amostras foram submetidas a 10⁶ ciclos de carga, número considerado mínimo para aplicação em materiais odontológicos, simulando aproximadamente um ano de serviço (Baldissara *et al.* 2006; Wiskott *et al.* 1995).



Figura 2. Ciclagem mecânica

Produção dos corpos de prova

Para a obtenção dos corpos de prova, os espécimes foram fixados pela base da resina acrílica, com cola a base de cianoacrilato (SuperBonder, Loctite, Henkel, Brasil) em uma base metálica na máquina de corte (IsoMet 1000, Buehler, EUA), e seccionados com disco diamantado (Series 15LC Diamond Wafering Blade, Buehler, EUA) sob refrigeração, perpendicularmente ao longo eixo da raiz, a partir da coroa. Discos de aproximadamente 2 mm de espessura foram obtidos, sendo duas secções da porção coronária e 4 secções da porção radicular. O primeiro corte do espécime foi descartado, assim como o espécime proveniente da região de transição entre núcleo de resina composta e a dentina radicular, objetivando evitar possíveis interferências na resistência adesiva devido a imperfeições nessas áreas (como excessos ou ausência de cimento).

a. Teste de microtração (porção coronária)

O preparo dos corpos de prova em forma de disco foi completado pela usinagem dos discos em forma de ampulheta através de um desgaste lateral realizado com broca diamantada cilíndrica (2215 KG; Sorensen, Brasil) acoplada a uma peça de mão de alta rotação sob refrigeração contínua. A broca atravessou toda a extensão de resina composta, até expor completamente a superfície do pino, executando neste uma cavidade de diâmetro correspondente ao diâmetro da broca. (Figura 3)

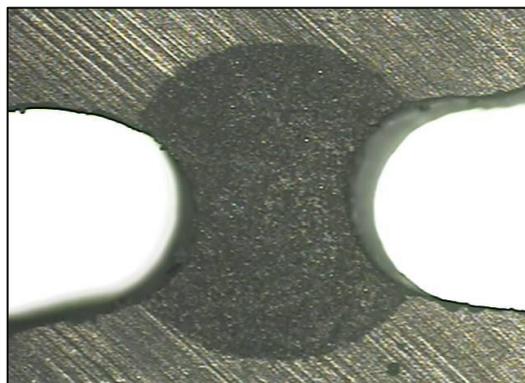


Figura 3. Corpo de prova usinado em forma de ampulheta.

Aplicação do teste

As duas extremidades opostas da ampulheta, que foram submetidas à tração, foram fixadas com cola a base de cianoacrilato (SuperBonder) às duas porções

livres de um dispositivo a ser montado em uma máquina universal de testes (DL 2000, Emic, São Jose dos Pinhais, Brasil). Com a aplicação da tração, a tensão foi transmitida para a interface resina composta - pino. Cada espécime foi tracionado a $1.0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ até a ocorrência de falha.

A resistência adesiva (Ra), foi calculada segundo sugerido por Mallman et al. (2007):

$$\text{Resistência adesiva (MPa)} = \frac{F_{\text{máx}} \text{ (N)}}{A \text{ (mm}^2\text{)}}$$

onde, $F_{\text{máx}}$ é a carga máxima aplicada até a fratura do corpo de prova, e A é a área adesiva, calculada pela fórmula: $A = (\text{CP} / 2) - \text{DBD} \times E$, sendo CP a circunferência do pino ($\text{CP} = 2 \cdot \pi \cdot r$, onde $\pi = 3,14$ e r = raio do pino), DBD o diâmetro da broca diamantada utilizada para fazer o desgaste lateral (1,2 mm), e E a espessura do corpo-de-prova.

b. Teste de extrusão (push-out) (porção radicular)

Esse teste foi utilizado para aferição da resistência adesiva entre pino – cimento - dentina radicular. Cada corpo de prova foi posicionado sobre um dispositivo metálico com uma abertura central ($\text{Ø}_{\text{orifício}} = 3 \text{ mm}$) maior que o diâmetro do canal. Sempre a face mais coronária do corpo de prova foi colocada voltada para baixo, de forma que a carga fosse aplicada no sentido apical-coronário. Para o ensaio de extrusão (*push-out*), um cilindro metálico ($\text{Ø}_{\text{extremidade}} = 1 \text{ mm}$) aplicou carga estática sobre a porção central do pino, tomando-se cuidado para qualquer outro material não fosse tocado pelo cilindro. Considerando a metodologia de embutimento e corte dos corpos de prova, o pino foi submetido a uma carga mais paralela possível em relação ao longo eixo do corpo de prova (eixo y). O teste foi executado em máquina de ensaio universal (DL 2000, Emic, São Jose dos Pinhais, Brasil) a velocidade de $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. A resistência adesiva (R em MPa) foi calculada conforme a fórmula $R = C/A$ onde, C = carga para ruptura do corpo de prova (N) e A = área interfacial (mm^2).

Cálculo da área adesiva (A) correspondente à porção radicular dos corpos de prova

Para esse cálculo, foi empregada a fórmula para cálculo de área lateral de tronco de cone circular de bases paralelas, conforme a Figura 4 (Valandro *et al.* 2007).

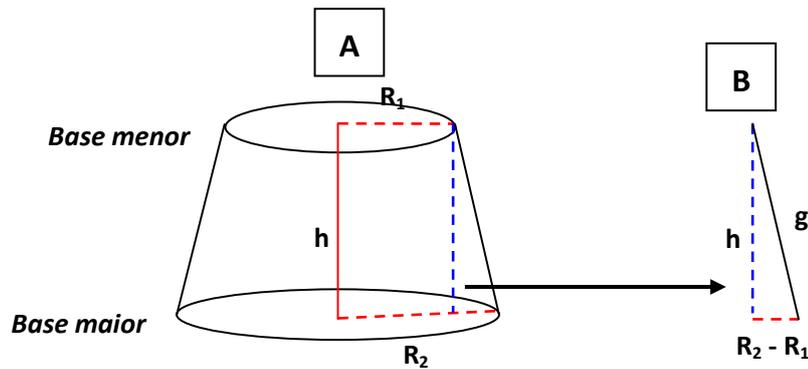


Figura 4 A– Desenho esquemático correspondente à secção interna do corpo-de-prova (paredes cônicas do pino) – figura geométrica de um tronco de cone circular reto de bases paralelas; B – Figura geométrica (triângulo) para cálculo da geratriz g do tronco de cone ($g^2 = h^2 + [R_2 - R_1]^2$).

Então, $A = \pi \cdot g \cdot (R_1 + R_2)$ onde, A = área interfacial, $\pi = 3,14$, g = geratriz do tronco, R_1 = raio da base menor, R_2 = raio da base maior e h = altura da secção.

Para o cálculo da geratriz do tronco de cone g foi utilizado o Teorema de Pitágoras, o qual estabelece que o “quadrado da medida de hipotenusa é igual à soma dos quadrados das medidas dos catetos” (Figura 4B). Assim, a seguinte fórmula foi empregada: $g^2 = h^2 + [R_2 - R_1]^2$.

Os valores de R_1 e R_2 foram obtidos pela medição dos raios da base menor e maior, respectivamente, do orifício de onde foi removido o pino. Esses valores foram obtidos após o ensaio, através de um microscópio óptico (Discovery V20, Zeiss, Germany), enquanto a altura h foi obtida previamente ao ensaio, com auxílio de paquímetro digital (Starrett® 727, Starrett, Brasil).

c- Avaliação do tipo de falha

Todos os corpos de prova ensaiados foram inicialmente analisados em um microscópio óptico (Discovery V20, Zeiss, Alemanha) com aumento de 75x, para verificação do modo predominante de falha (presente em mais de 70% da interface adesiva):

- Corpos de prova da porção coronária: (Ades) adesiva entre pino e resina composta; (Coes P) coesiva do pino; (Coes R) coesiva da resina composta; (M) mista adesiva / coesiva.
- Corpos de prova da porção radicular: (Ades DC) adesiva entre dentina e cimento; (Ades PC) adesiva entre pino e cimento; (Coes P) coesiva do pino; (Coes D) coesiva da dentina; (Coes PD) coesiva de pino e dentina; (M) mista adesiva / coesiva.

Corpos de prova com falhas representativas foram selecionados para análise em microscópio eletrônico de varredura (MEV). Os corpos de prova foram submetidos à limpeza em ultra-som com água deionizada durante 5 minutos, imersos em álcool 96% e secos com leve jato de ar. Após, cada corpo de prova foi fixado em uma base metálica, coberto com ouro (Denton Vacuum, DESK II, China) e observado em MEV (JSM-6360, JEOL, Japão) sob diferentes aumentos.

2- Resistência à flexão

Para esta avaliação, foi empregado um teste de flexão de três pontos utilizando-se pinos especialmente usinados pelo fabricante para este fim (pinos cilíndricos, com diâmetro correspondente à porção coronária dos pinos duplo-cônicos utilizados para o teste de resistência adesiva – 2,00 mm), de forma que a geometria do pino não influenciasse de forma negativa o cálculo da resistência à flexão.

Vinte e cinco pinos foram tratados com as estratégias G1, G4, G5, G6 e G7 (n=5) (Tabela 1), sem a aplicação de silano. Cada pino foi posicionado sobre os dois suportes cilíndricos, distantes 10 mm entre si (*span*), para que um ponto superior aplicasse carga estática exatamente na porção média entre os suportes, à 0,5 mm/min, até a fratura dos corpos de prova (Figura 5). O teste foi conduzido em uma máquina de testes universal (DL 2000, Emic, Brasil).



Figura 5. Teste de flexão de três pontos
(pino cilíndrico posicionado sobre dois suportes inferiores)

A resistência à flexão (R_f) foi calculada conforme a fórmula:

$$R_f = 8F_{\max} \cdot L / \pi \cdot d^3$$

onde F_{\max} = força máxima (N) aplicada antes da fratura do corpo-de-prova; L = distância entre os suportes inferiores (*span*); π = 3,14; d = diâmetro do corpo de prova. (Lassila *et al.* 2004; D'Arcangelo *et al.* 2007)

3- Análise da micromorfologia da superfície dos pinos

Dois pinos condicionados de cada grupo (G1, G4, G5, G6 e G7 – Tabela 1) foram submetidos à limpeza em ultra-som com água deionizada durante 5 minutos, imersos em álcool 96% e secos com leve jato de ar para posterior avaliação em MEV (processo citado anteriormente), a fim de se observar o padrão morfológico da superfície após o condicionamento proporcionado por cada uma das estratégias de tratamento da superfície (controle = Grupo 1).

4- Análise estatística

Os dados obtidos através do teste de resistência adesiva (porção coronária e porção radicular), e de flexão de três pontos, foram submetidos, separadamente, à análise de variância um fator ($\alpha=0,05$), e ao teste de Tukey para contraste de médias (Statistix 8.0 for Windows, Analytical Software Inc., USA). Os valores correspondentes aos corpos de prova que sofreram falha coesiva foram excluídos para a análise estatística, tanto para as médias de microtração quanto para as médias de *push-out*.

RESULTADOS

1- Resistência adesiva

Porção coronária

A análise de variância um fator, em relação aos valores de resistência adesiva entre pino de fibra e resina composta para reconstrução do núcleo, mostrou significância para o tratamento de superfície dos pinos ($p < 0,001$): a aplicação de agente silano (G3) apresentou melhora significativa nos resultados de resistência adesiva em relação aos demais grupos. (Tabela 2, Figura 6).

Tabela 2. Médias de resistência adesiva à microtração.

Tratamento	Média \pm DP*
G1 – Sem tratamento de superfície	24,6 \pm 5,3 ^B
G2 – Álcool	24 \pm 10,6 ^B
G3- Álcool + silano	40,8 \pm 6,2 ^A
G4 – Al ₂ O ₃ + silano	26,5 \pm 4,7 ^B
G5 – H ₂ O ₂ + silano	29,6 \pm 8,3 ^B
G6 – HF + silano	24,1 \pm 5,1 ^B
G7 – H ₃ PO ₄ + silano	30,8 \pm 7,8 ^B

*Letras diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,05$)

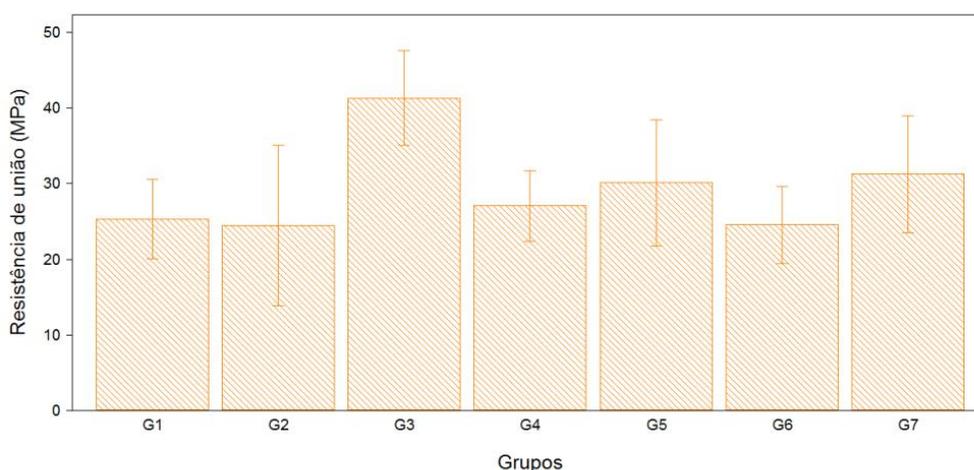


Figura 6. Valores de resistência adesiva (BS) para os diferentes tipos de tratamento de superfície.

O número de falhas coesivas do pino ocorridas durante o teste foi considerável (Tabela 3). Estas falhas foram excluídas para análise estatística. A Figura 7 apresenta o tipo de falha presente nos corpos de prova cujos dados foram

considerados na análise estatística.

Tabela 3. Análise de falha para o teste de microtração.

Grupo	Número de secções	Coes P	Ades
G1	20	4	16
G2	20	7	13
G3	20	11	9
G4	20	9	11
G5	20	8	12
G6	20	5	15
G7	20	9	11

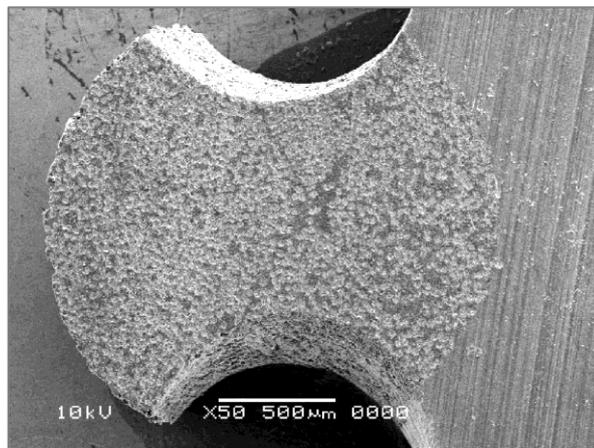


Figura 7. Falha adesiva entre pino de fibra e resina composta.

Porção radicular

Com relação à porção radicular, nenhum tratamento de superfície apresentou influência significativa na resistência adesiva ao teste *push-out* ($p = 0,8766$) (Tabela 4).

Tabela 4. Médias e Desvio Padrão para resistência ao *push-out* em função de diferentes tratamentos de superfície do pino.

Tratamento	Média \pm DP
G1 – Sem tratamento de superfície	8,8 \pm 3,2
G2 – Álcool	8,1 \pm 3,9
G3- Álcool + silano	7,5 \pm 2,4
G4 – Al ₂ O ₃ + silano	7,5 \pm 3,6
G5 – H ₂ O ₂ + silano	7,1 \pm 2,9
G6 – HF + silano	8,2 \pm 2,9
G7 – H ₃ PO ₄ + silano	7,2 \pm 2,6

Quanto ao modo de fratura dos espécimes da porção radicular, submetidos

ao *push-out*, as fraturas se deram predominantemente por falha na interface cimento – dentina em todos os grupos (Tabela 5). Alguns exemplos do modo de falha podem ser observados nas fotomicrografias apresentadas na Figura 8. Fraturas coesivas foram excluídas da análise dos dados.

Tabela 5. Modo de falha dos espécimes radiculares submetidos ao *push-out*.

	Ades CD (%)	Ades PC (%)	Coes P (%)	Coes PD (%)
G1	33 (86,8)	4 (10,5)	1 (2,7)	0
G2	32 (82)	2 (5,1)	4 (10,25)	1 (2,65)
G3	34 (91,9)	0	1 (2,7)	2 (5,4)
G4	28 (73,7)	5 (13,2)	2 (5,3)	3 (7,8)
G5	31 (81,6)	3 (7,9)	4 (10,5)	0
G6	28 (71,8)	11 (28,2)	0	0
G7	32 (86,5)	2 (5,4)	3 (8,1)	0

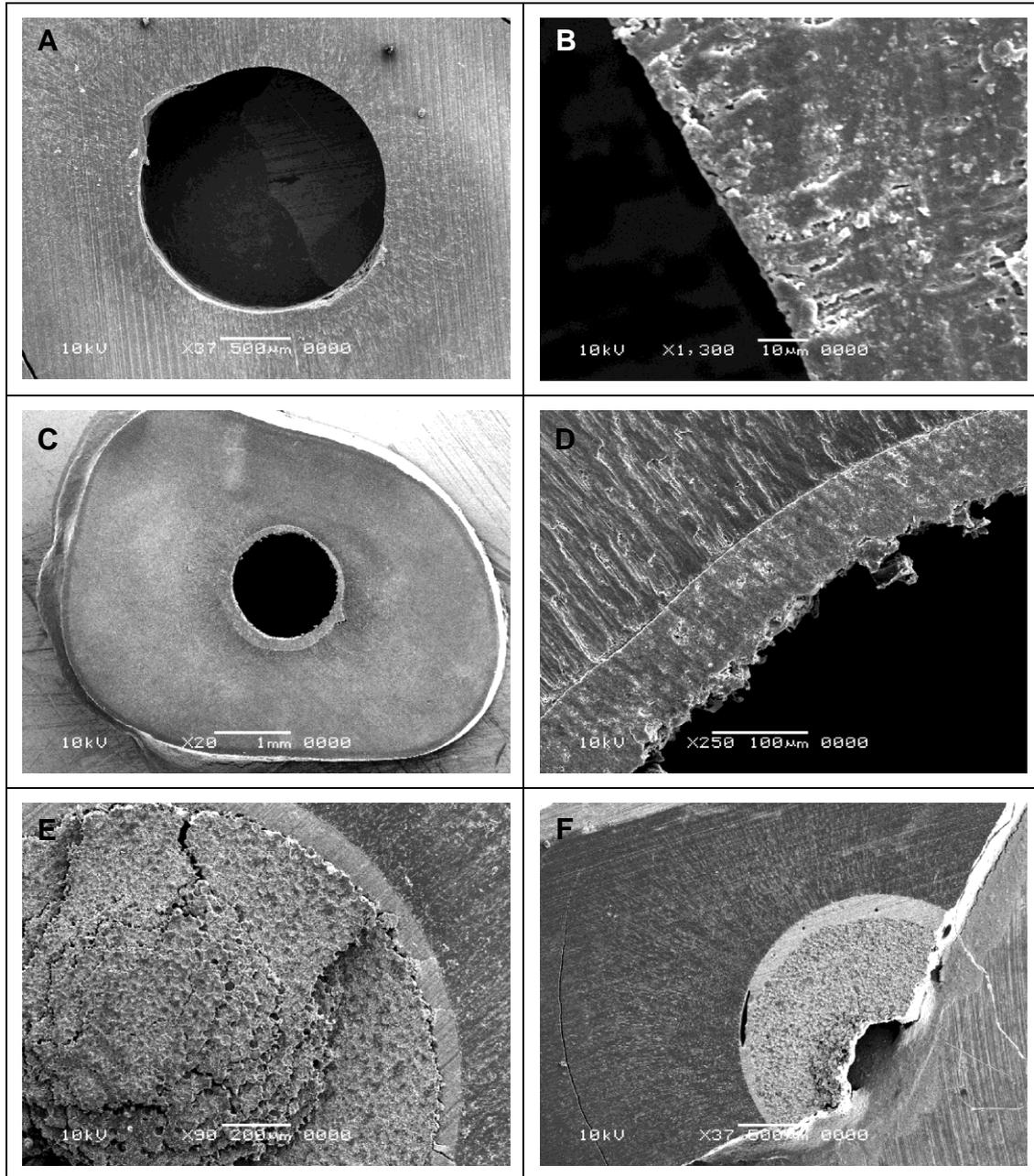


Figura 8. Fotomicrografias ilustrativas do tipo de falha encontrado nos espécimes após teste de extrusão; (A e B) Falha adesiva entre cimento e dentina, (C e D) Falha adesiva entre pino e cimento, (E) Falha coesiva de pino, e (F) Falha coesiva de pino e dentina.

2- Resistência à Flexão

Aplicou-se uma análise variância para detectar influência do fator “tratamento de superfície” sobre a resistência à flexão dos pinos de fibra, onde $p=0,0002$ ($\alpha=0,05$). Segundo o teste de Tukey, o único tratamento de superfície, dentre os propostos, capaz de causar diminuição da resistência à flexão nos pinos de fibra cilíndricos testados foi o jateamento com partículas de óxido de alumínio $125 \mu\text{m}$ (Tabela 6, Figura 9).

Tabela 6. Dados referentes ao teste de flexão de três pontos

	Média* (MPa)	DP (CV%)
G1- Sem tratamento de superfície	689,3 ^A	28,5 (4,1)
G4- Al ₂ O ₃ 125 µm	622,4 ^B	15,8 (2,5)
G5- H ₂ O ₂	696,2 ^A	34,1 (4,9)
G6 – HF	694,8 ^A	12,6 (1,8)
G7 – H ₃ PO ₄	694,3 ^A	19,2 (2,8)

*Letras diferentes indicam diferença estatística ($\alpha < 5\%$).



Figura 9. Médias de resistência à flexão

3- Análise da micromorfologia da superfície dos pinos

De acordo com a Figura 10, é perceptível a alteração superficial causada pelos diferentes tipos de tratamento de superfície propostos. Aparentemente, o jateamento com óxido de alumínio 125 µm causa danos à estrutura do pino, com destruição de fibras e matriz, provavelmente também resultando em maior rugosidade superficial (Figura 10b). As imagens observadas nas Figuras 10a, 10c e 10e apresentam-se semelhantes, não indicando qualquer tipo de alteração superficial provocada pelo peróxido de hidrogênio (Figura 10c) ou pelo ácido fosfórico (Figura 10e) em relação ao controle (Figura 10a). E finalmente, o ácido fluorídrico parece causar uma maior exposição das fibras na superfície do pino (Figura 10d).

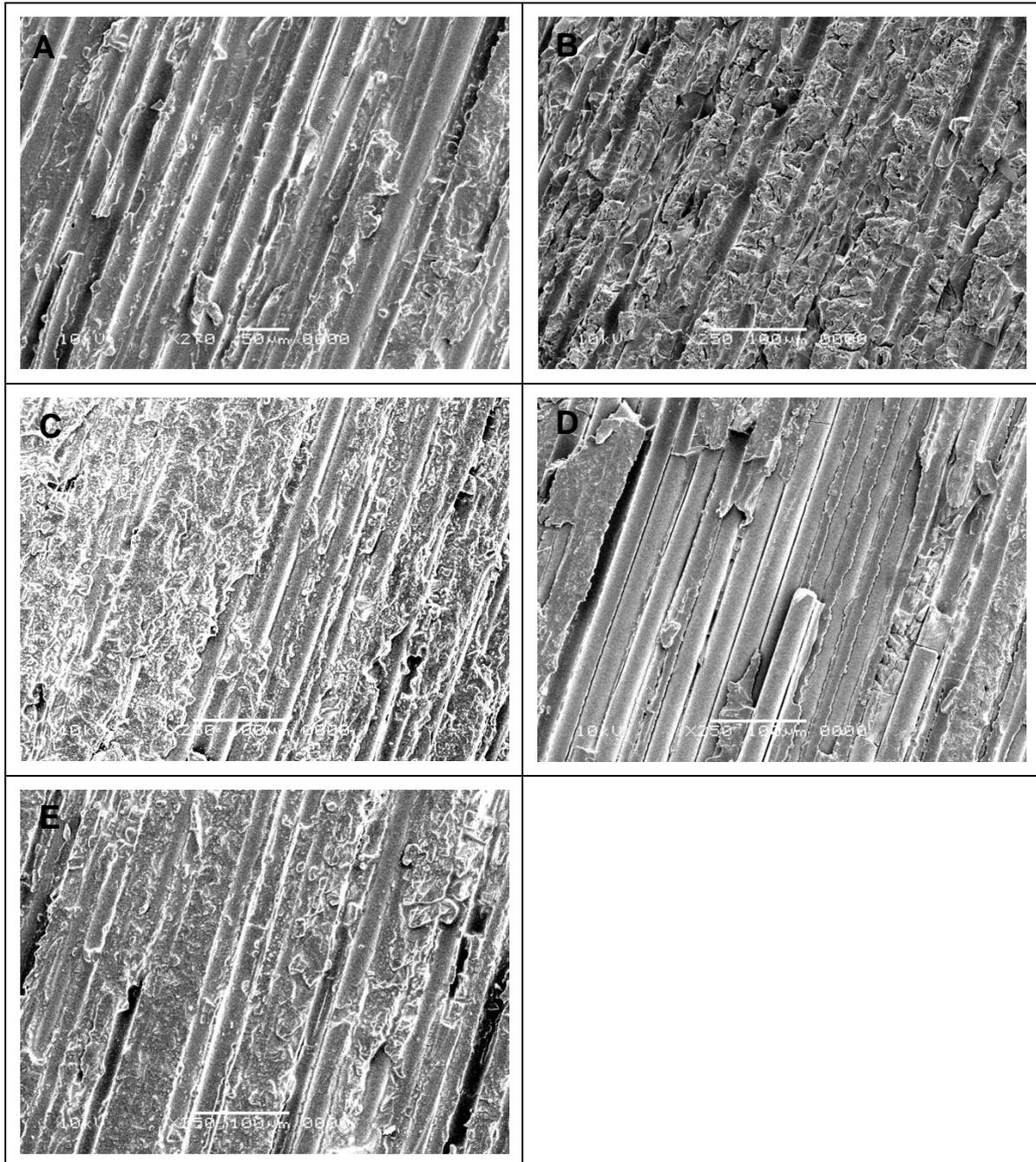


Figura 10. Padrão de superfície observado em MEV (250X). (a) G1 – controle; (b) G4 – jateamento com óxido de alumínio 125 μm; (c) G5 - peróxido de hidrogênio 10%; (d) G6 - ácido fluorídrico 10%; (e) G7 - ácido fosfórico 37%.

DISCUSSÃO

Este estudo avaliou diferentes interfaces relacionadas ao pino de fibra de vidro, em casos de restauração de dentes amplamente destruídos, cujo uso de retentor intrarradicular é exigido para ancoragem do material de reconstrução do núcleo coronário.

Uma adequada adesão entre pino de fibra e cimento / resina composta, e entre o cimento e a dentina é necessária para a restauração de dentes tratados endodonticamente (Lanza et al. 2005), assim, o uso de pinos de fibra tem sido indicado juntamente com o uso de estratégias adesivas na tentativa de reforçar as paredes radiculares fragilizadas, formando uma unidade hipotética, que levaria a melhor distribuição das tensões sofridas durante mastigação (Tay & Pashley, 2000; Lanza et al. 2005).

Resistência adesiva – porção coronária (resina composta – pino)

De acordo com os resultados do teste de microtração entre resina composta de reconstrução do núcleo e pino de fibra (Tabela 1), apenas a aplicação de agente silano (G3) apresentou melhora significativa nos resultados de resistência adesiva em comparação com os demais grupos (G1, G2, G4, G5, G6 e G7). Desta forma, a hipótese nula foi rejeitada, visto que a resistência adesiva entre pino e resina composta foi afetada pelo tratamento de superfície.

Segundo informações fornecidas pelo fabricante, os pinos utilizados neste estudo recebem limpeza e silanização após usinagem, previamente à disponibilização no mercado (os processos não foram detalhados), o que, de alguma forma, promoveria uma adesão inicial na interface pino-resina composta. Isso explicaria o fato de que o grupo controle deste estudo (G1) não recebeu nenhum tipo de tratamento de superfície previamente à reconstrução no núcleo, e teve valores semelhantes aos grupos G2, G4, G5, G6 e G7. A aplicação de silano na superfície de pino de fibra tem demonstrado melhorar a resistência à microtração realizada entre pino de fibra e resina composta utilizada para reconstrução do núcleo (Goracci et al. 2005), além de prevenir a degradação da resistência adesiva entre cerâmica

feldspática e cimento resinoso após termociclagem (Brentel et al. 2007), mostrando estabilidade da interface.

O silano representa um agente de união bifuncional, com capacidade de ligação a compostos orgânicos e inorgânicos (Brentel et al. 2007, Goracci et al. 2005). No cenário testado, o silano teria a função de se unir à matriz orgânica das resinas compostas / cimentos resinosos e à sílica presente na fibra de vidro dos pinos, além de aumentar a capacidade de molhamento da superfície (Goracci et al. 2005). Segundo Nishiyama et al. (1995), as propriedades de uma interface composta por silano são influenciadas pela quantidade absorvida de silano e pelas características de absorção dos mesmos.

De acordo com Marshall et al. (2010), um dos requisitos para boa adesão é a presença de contato íntimo dos materiais a serem unidos. A falta de contato da resina composta com a superfície jateada do pino pode ter levado ao não aumento da resistência adesiva à microtração no G4. A penetração da resina composta nas microrretenções criadas pelo jateamento com partículas de óxido de alumínio pode ter sido dificultada pela baixa fluidez do material de reconstrução, não permitindo adequado contato e resistência adesiva entre o pino de fibra de vidro e a resina composta. Radovic et al. (2007) e Soares et al. (2008) também encontraram valores superiores para pinos que receberam apenas aplicação de silano, comparados aos que receberam jateamento + aplicação de silano.

As substâncias empregadas nos grupos G5, G6 e G7 (peróxido de hidrogênio a 10%; ácido fluorídrico a 10%, e ácido fosfórico a 37%, respectivamente) parecem não ter causado nenhuma mudança morfológica significativa que tenha sido suficiente para potencializar a adesão (Figura 10c, 10d e 10e, respectivamente). Após condicionamento dos pinos referentes a estes grupos, houve subsequente aplicação do silano.

O ácido fosfórico (G8) aparentemente possui efeito apenas de limpeza da superfície do pino, assim como a aplicação de HF (G6). Valandro et al. (2006) mostraram aumento da resistência adesiva quando o pino recebia tratamento prévio com HF; já Vano et al (2006) encontraram valores semelhantes para condicionamento com HF + silano e silano + adesivo. O aumento da rugosidade de superfície dos pinos também foi observado através de microscopia de força atômica, empregando-se ácido fluorídrico a uma concentração de 4% por 1 minuto (Mazzitelli et al. 2008). A aplicação de ácido fluorídrico, proposta no G7, pode ter resultado em

resíduos de flúor remanescentes na superfície após lavagem, o que segundo Marshall et al (2010), diminui a energia de superfície dos materiais; porém nenhum tipo de análise foi realizada, no presente estudo, para constatar a presença desta substância na superfície dos pinos após condicionamento.

Deve ser observado que o tipo de teste empregado no atual estudo, para avaliação da adesão na interface resina composta – pino, difere dos estudos conhecidos que avaliaram resistência adesiva entre pinos com superfícies tratadas por diferentes substâncias e resina composta de reconstrução / cimento resinoso. O teste mais comumente utilizado é a microtração de corpos de prova em forma de barra, com interface adesiva não usinada ($\pm 1\text{mm}^2$) (Vano et al. 2005, Valandro et al. 2006, Radovic et al. 2007, Monticelli et al. 2006 / 2006a / 2006b, Magni et al. 2007, Goracci et al. 2005). A geometria do corpo de prova utilizado para o teste de resistência adesiva à microtração influencia tanto nos valores obtidos, quanto na distribuição de tensões (Soares 2008b), aonde os corpos de prova em forma de barra apresentam melhor distribuição de tensões em relação a corpos de prova em forma de ampulheta (interface usinada) (Soares et al, 2008b; Armstrong et al. 2010). Devido à configuração, os corpos de prova em forma de ampulheta acabam concentrando a maior parte das tensões no local da constrição causada pela broca (Soares et al. 2008b), e não na interface de união, como desejado. Este local atua como um defeito na superfície do corpo de prova, no qual a falha tende a iniciar.

O presente estudo aplicou uma abordagem diferenciada, simulando a reconstrução do núcleo em resina composta ancorada pelo pino de fibra de vidro, e avaliando a resistência de união após ciclagem mecânica (reconstrução do núcleo ancorado por retentor cimentado no canal radicular); o que impossibilitou que a obtenção de corpos de prova em formato de barra, e conseqüentemente, a realização da microtração. Além disso, de acordo com estudo piloto, a aplicação de *push-out* nessa configuração, resultou em 90% de falhas coesivas em resina composta. Logo, a utilização de corpos de prova de interface usinada foi a metodologia de escolha (Mallmann et al. 2005). Além disso, nenhum dos estudos citados anteriormente aplicou ciclagem mecânica. Estes dois pontos devem ser levados em consideração na comparação dos resultados obtidos.

Após secção na máquina de corte, uma secção coronária do G3 e duas secções coronárias do G6 apresentavam trincas nos pinos de fibra correspondentes previamente à usinagem com broca diamantada, o que levou a falha dos corpos de

prova logo após o desgaste. As falhas coesivas de pino provavelmente ocorreram devido à fragilização à qual este foi submetido durante usinagem à mão livre, com ponta diamantada em alta rotação (Figura 4), e supostamente ao fato de que a aplicação de carga durante ciclagem mecânica foi realizada diretamente sobre a resina composta de reconstrução (Figura 2).

Variados procedimentos aplicados para execução deste experimento podem ter afetado às propriedades dos pinos de fibra (discutidas posteriormente, na seção de resistência à flexão de três pontos). O alto número de falhas coesivas apresentadas durante usinagem e teste dos corpos de prova (Tabela 2) provavelmente é resultado da distribuição desigual de tensões no corpo de prova em forma de ampulheta (já mencionado), das tensões não controladas sofridas durante a usinagem, que são transmitidas às interfaces (Goracci et al. 2004), da fragilização da seção do pino pela usinagem (Figura 4), e aplicação de carga, pela ciclagem mecânica diretamente sobre a resina composta de reconstrução (Figura 2), sendo que os maiores valores de tensão foram registrados, por análise de elementos finitos, para o ponto de aplicação de carga (Adanir et al. 2007). Tensões descontroladas aplicadas pela ponta diamantada podem ser responsáveis, também, pelos altos valores de desvio padrão encontrados neste teste (Goracci et al. 2004).

A Figura 11 mostra que as falhas coesivas dos pinos ocorreram por falha entre fibra de vidro e matriz de resina epóxi. Durante a fadiga cíclica, lacunas estão mais propensas a se formar na interface fibra-matriz comparada a situações de aplicação de carga monotônica. Além disso, a posição de 45°, à qual os corpos de prova foram submetidos durante a ciclagem, leva à solitação mecânica nesta região. Essa formação de lacunas é um dos mecanismos citados como responsáveis pelo dano induzido por fadiga em materiais compostos (Baran et al. 2001).

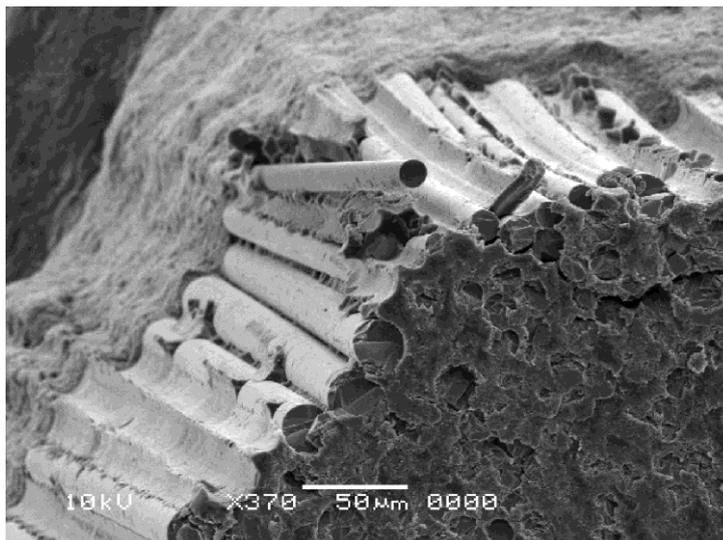


Figura 11. Superfície de fratura coesiva do pino.

Resistência adesiva - porção radicular (pino – cimento resinoso – dentina)

Para resistência adesiva intrarradicular, os tipos de tratamentos executados na superfície do pino de fibra de vidro não apresentaram influência na retenção deste; confirmando a hipótese sugerida. O principal tipo de falha encontrada foi entre cimento e dentina. As falhas coesivas mostradas nas Figuras 8E e 8F ocorreram principalmente no corpo de prova proveniente da região cervical, e sempre associados a altos valores de resistência. De acordo com os resultados obtidos, a retenção intrarradicular parece ser mais dependente do manejo dos tecidos dentais que do tratamento de superfície dos pinos.

Segundo a literatura consultada, dois principais fatores foram responsáveis pela otimização da resistência adesiva à microtração entre pino de fibra e resina composta - cimento resinoso: (1) maior rugosidade de superfície, causada por peróxido de hidrogênio (Monticelli et al. 2006b, Monticelli et al. 2006, Vano et al. 2006), permanganato de potássio e etóxido de sódio (Monticelli et al. 2006), jateamento com óxido de alumínio (Radovic et al. 2007), ácido fluorídrico (Vano et al. 2006), e (2) maior reatividade química da superfície, promovida por silicatização (Valandro et al, 2006) e silanização (Aksornmuang et al. 2004, Monticelli et al. 2006a, Magni et al. 2007, Goracci et al. 2005).

Apesar da configuração do corpo de prova envolvendo apenas cimento/resina composta - pino de fibra, sem a presença de dentina, mostrar-se ideal para

análise de resistência adesiva através de microtração de espécimes em forma de barra, essa abordagem não representa um método fiel à situação clínica.

O *design* experimental empregado para confecção das amostras no atual estudo procurou simular, de forma mais fiel possível, a situação clínica (cimentação do retentor no interior do conduto radicular), além de realizar envelhecimento dos corpos de prova, com o intuito de simular o serviço clínico, o que contrasta com a maioria dos estudos que avaliaram diferentes tratamentos de superfície dos pinos (Monticelli et al. 2008).

Neste contexto, a adesão entre cimentos resinosos e dentina intrarradicular deve ser observado, visto que não representa um processo simples, devido principalmente, à configuração do canal radicular, que favorece a tensão de polimerização e dificulta o acesso para realização dos procedimentos adesivos (Bouillaguet et al. 2003). Canais estreitos e profundos dificultam a liberação das tensões geradas durante a polimerização de resinas a base de metacrilato, principalmente para as com baixo conteúdo de carga e baixa viscosidade (Tay et al. 2005). Vários estudos foram conduzidos com o intuito de superar esta limitação imposta pelo cenário em questão (da Silva et al. 2008, Giachetti et al. 2009, Jongsma et al. 2010, Mallmann et al. 2005), que, de acordo com este trabalho, ainda representa a questão mais crítica – aproximadamente 82% das falhas ocorreram entre cimento e dentina.

Além disso, a carga recebida parece se concentrar na região do cimento, o que levaria à degradação acelerada desta interface. Durante aplicação de carga em 45°, na superfície lingual, a análise por elementos finitos de dentes restaurados com retentores intrarradiculares revelou que as tensões máximas foram desenvolvidas nas interfaces entre pino, dentina, e resina composta do núcleo (Papadopoulos et al. 2010, Adanir et al. 2007), e na interface entre pino e cimento (Lanza et al. 2005). Além desta região, devido ao módulo elástico semelhante entre pino de fibra e dentina, existe concentração de forças também na região cervical do conjunto pino-raiz-núcleo de resina composta, tanto para forças oblíquas (Adanir et al. 2007) quanto para forças verticais (Pegoretti et al. 2002).

Apesar de todos os corpos de prova sobreviverem aos 10⁶ ciclos de carga aplicados e nenhuma falha macroscópica ter sido observada previamente à realização dos testes de resistência adesiva, existe o risco de que ocorra

microinfiltração marginal entre a resina composta e a dentina, na face correspondente à lingual, onde a interface sofre forças de tração.

Quanto ao tipo de teste aplicado para aferição da resistência adesiva entre pino-cimento-dentina intrarradicular, o *push-out*, comparado ao teste de microtração em forma de ampulheta, apresentou menor variabilidade e distribuição mais homogênea dos valores de resistência adesiva (Goracci et al. 2004, Soares et al. 2008b), produzindo dados mais dependentes

Este modelo de teste apresentou, através de análise de elementos finitos, concentração de tensões ao redor do cimento resinoso, tensão de compressão na superfície inferior e de tração na superfície superior do corpo de prova, ao redor do cimento, além de tensão de cisalhamento, sendo que estas foram mais homogeneamente distribuídas ao redor do pino, em relação à microtração em forma de ampulheta (Soares et al. 2008b). A microtração em forma de barras de interface não usinada não se mostrou um teste aplicável ao cenário radicular (Goracci et al. 2004, Soares et al. 2008b).

Resistência à flexão

Quanto à resistência à flexão, a hipótese proposta neste trabalho foi rejeitada, visto que o jateamento com partículas de óxido de alumínio 125 µm reduziu significativamente a carga necessária para fratura durante flexão de três pontos.

Vários fatores afetam as propriedades dos pinos de fibra. As fibras representam o material de reforço do sistema, logo, quanto maior a proporção fibra/matriz, maior a resistência à fratura (Grandini et al. 2005), assim como quanto maior o diâmetro do pino de fibra, maior a carga de fratura e menor o módulo elástico deste material (Lassila et al. 2004).

De acordo com as imagens obtidas através da microscopia eletrônica de varredura (Figura 10b) é possível observar o padrão de destruição causado pelo impacto das partículas nas fibras, o que está bem evidenciado em maior aumento (1.000 X, Figura 12). Isto também foi percebido por Soares et al. (2008), que constataram remoção parcial da matriz e rompimento da interface entre matriz e fibras, o que é extremamente crítico, visto que o desempenho de materiais compósitos está diretamente ligado à qualidade da união na interface matriz-material de reforço (Iglesias et al. 2002, Grandini et al. 2005). Esse rompimento da interface

fibra-matriz pode causar fratura das fibras superficiais durante o ensaio de flexão de três pontos. Além disso, as irregularidades geradas pelo jateamento podem funcionar como defeitos críticos, facilitando a progressão de trincas a partir dos pontos superficiais mais afetadas pelo condicionamento, sob aplicação de cargas mais baixas que o esperado; e isto pode gerar um impacto global na resistência (Soares et al. 2008a).

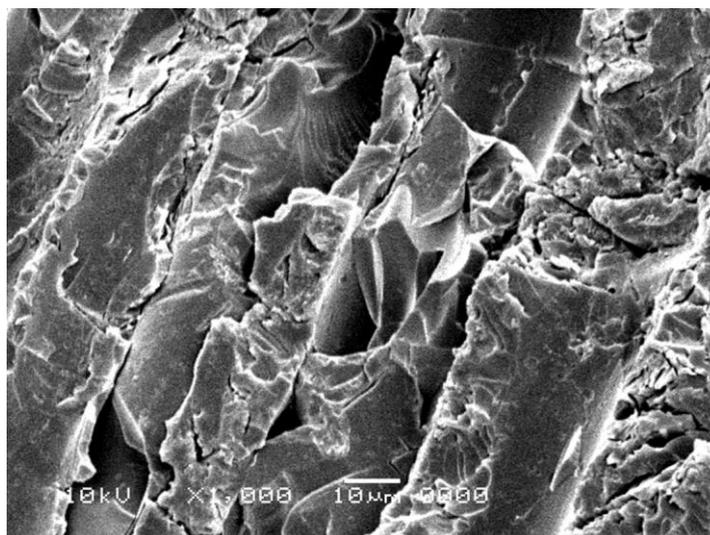


Figura 12. Destruição das fibras superficiais do pino pelo impacto das partículas de óxido de alumínio durante jateamento

Durante a flexão de três pontos, um corpo em forma de barra, sofrendo aplicação de carga em um ponto superior oposto a dois apoios inferiores, sofre forças de compressão na metade superior, e de tração na metade inferior, sendo que a falha geralmente ocorre na face de tração (Schlichting et al. 2010). O pino de fibra é composto por matriz de resina e fibras; a matriz, geralmente constituída por polímeros epóxicos ou acrílicos, possui alta resistência à compressão, e a adição das fibras confere resistência à tração (Schlichting et al. 2010). Logo, é presumível que sua destruição leve ao enfraquecimento da resistência à tração. Adicionalmente, Mannocci et al (2001) colocam como uma das causas para a falha de materiais compostos a flexão ou ruptura das fibras.

O teste de flexão de três pontos tem sido utilizado para determinação da resistência à flexão (Soares et al. 2008, Valandro et al, 2006, D’Arcangelo et al 2007, Lassila et al.2004, Mannocci et al. 2001), módulo elástico (Soares et al. 2008, D’Arcangelo et al. 2007, Lassila et al. 2004) e dureza (Soares et al. 2008) de

diversos tipos de materiais, sendo a resistência à flexão a propriedade mais comumente aferida. Esta é determinada pela maior carga que o material suporta e depende da configuração do corpo de prova (Plotino et al. 2007), sendo um parâmetro utilizado para comparação entre as propriedades mecânicas do material e do substrato avaliados.

Submetendo pinos de fibra de vidro e carbono ao jateamento com partículas de óxido de alumínio 50µm durante 10 s, Soares et al. (2008a) não encontraram diminuição na resistência à flexão de três pontos. O jateamento executado com partículas de sílica 30 µm / 15 s também não afetou a resistência à flexão de três pontos de nenhum dos três tipos de pinos de fibra avaliados por Valandro et al, em 2006, assim como D'arcangelo et al. (2007), que realizou jateamento com partículas de óxido de alumínio 50 µm por 10 s. Deve ser observado que o tamanho da partícula e o tempo empregado pelos autores citados acima são menores em relação aos empregados neste estudo, o que poderia explicar a redução significativa de resistência encontrada.

D'Arcangelo et al. (2007) também avaliaram o condicionamento com ácido fluorídrico 9,5% / 15 s, sendo igualmente inerte sobre a propriedade mecânica avaliada. Esta técnica foi relatada como extremamente agressiva à estrutura de pinos de fibra de vidro, por dissolver o componente vítreo (Mazzitelli et al 2008, Vano et al. 2006). Porém, este fato não foi observado no presente estudo, nem por observação em MEV, nem por diminuição da resistência à flexão, mesmo utilizando-se maior concentração do produto (10% comparado a 4% nos estudos anteriores). Porém a superfície mostrou fibras mais expostas (Figura 10d) comparada à superfície do grupo sem tratamento (Figura 10a), o que pode ser resultado de uma dissolução não seletiva, contrariamente ao que ocorre em cerâmicas com componente vítreo, onde a dissolução deste elemento causa entalhes localizados entre a fase cristalina do material (Brentel et al. 2007), gerando microrretenções, não observadas neste estudo.

Assim como o condicionamento com ácido fluorídrico, os outros tratamentos de superfície propostos, com exceção do jateamento com óxido de alumínio 125 µm, não causaram alteração significativa na estrutura do pino que poderia levar à diminuição de sua resistência à flexão em três pontos.

CONCLUSÕES

- (1) A adesão entre pino de fibra de vidro e resina composta para reconstrução do núcleo, avaliada após ciclagem mecânica, parece ser afetada pelo tratamento da superfície do pino, sendo a aplicação de silano o tratamento com melhores resultados. Já a adesão no interior do canal radicular não mostra tal sensibilidade às alterações propostas para a superfície do pino.
- (2) O jateamento com partículas de óxido de alumínio 125 μm causou diminuição na resistência à flexão de três pontos de pinos de fibra cilíndricos.
- (3) Diferentes tratamentos de superfície promoveram padrões distintos de morfologia em pinos de fibra de vidro observados sob microscopia eletrônica de varredura.

RELEVÂNCIA CLÍNICA

O tratamento de superfície de pinos de fibra de vidro pode influenciar a resistência adesiva de forma diferente nas diferentes interfaces formadas durante a reconstrução de dentes extensivamente destruídos. Além disso, alguns tratamentos propostos para otimizar a adesão nesta superfície podem gerar diminuição das propriedades mecânicas dos pinos. Estes dados podem guiar os clínicos na seleção da estratégia de cimentação/reconstrução mais apropriada.

REFERÊNCIAS

- ADANIR N, BELLI S. Stress analysis of a maxillary central incisor restored with different posts. *European Journal of Dentistry*, v.1, n.2, p.67-71, 2007.
- AKSORNMUANG J. et al. Microtensile bond strength of a dual cure resin core material to glass and quartz fibre posts. ***Journal of Dentistry***, v.32, n.6, p.433-450, 2004.
- ALBASHAIREH Z. S., GHAZAL M., KERN M. Effects of endodontic post surface treatment, dentin conditioning, and artificial aging on the retention of glass fiber-reinforced composite resin posts. ***Journal of Prosthetic Dentistry***, n.103, p.31-39, 2010.
- ARMSTRONG S. et al. Adhesion to tooth structure: a critical review of “micro” bond strength test methods. ***Dental Materials***, v.26, n.2, p.50-62, 2010.
- ASMUSSEM E.; PEUTZFELDT A.; HEITMANN T. Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts. ***Journal of Dentistry***, v.27, n.4, p. 275-278, 1999.
- ASSIF D.; GORFIL C. Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth. ***The Journal of Prosthetic Dentistry***, v.71, n.6, p. 565-567, 1994.
- BALBOSH A.; KERN M. Effect of surface treatment on retention of glass-fiber endodontic posts. ***The Journal of Prosthetic Dentistry***, v.95, n.3, p.218-223, 2006.
- BALDISSARA P. et al. Effect of root canal treatments on quartz fiber posts bonding root dentin. ***Journal of Endodontics***, v.32, n.10, p.985-988, 2006.
- BARAN G.; BOBERICK K.; McCOOL J. Fatigue of restorative materials. ***Critical Reviews in Oral Biology and Medicine***, v.12, n.4, p.350-356, 2001.
- BITTER K. et al. Bond strengths of resin cements to fiber-reinforced composite posts. ***American Journal of Dentistry***, v.19, n.3, p.138-142, 2006.
- BRENTTEL A. S. et al. Microtensile bond strength of a resin cement to feldspathic ceramic after different etching and silanization regimens in dry and aged conditions. ***Dental Materials***, n.23, p.1323-1331, 2007.

- BOTTINO M. A. et al. Effects of mechanical cycling on the bonding of zirconia and fiber posts to human root dentin. **The Journal of Adhesive Dentistry**, v.9, n.3, p.327-331, 2007.
- BOUILLAGUET S. et al. Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. **Dental Materials**, v.19, p.199-205, 2003.
- D'ARCANGELO C. et al. Influence of Surface Treatments on the Flexural Properties of Fiber Posts. **Journal of Endodontics**, v.33, n.7, p.864–867, 2007.
- DURET B, REYNAUD M, DURET F. New concept of coronoradicular reconstruction: the Composipost (1). **Le Chirurgien-dentiste de France**, v. 60, p.131-41, 1990.
- GALHANO G. et al. Evaluation of the flexural strength of carbon fiber-, quartz fiber-, and glass fiber-based posts. **Journal of Endodontics**, v.31, n.3, p.209-211, 2005.
- GIACHETTI L. et al. Translucent fiber post cementation using light- and dual-curing adhesive techniques and a self-adhesive material: push-out test. **Journal of Dentistry**, v.37, n.8, p.638-642, 2009.
- GLAZER B. Restoration of endodontically treated teeth with carbon fiber posts. **Journal (Canadian Dental Association)**, n.66, v.11, p.613-618, 2000.
- GRANDINI S. et al. Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three-point bending test. **Dental Materials**, n.21, p.75-82, 2005.
- GORACCI C. et al. The adhesion between prefabricated FRC posts and composite resin cores: microtensile bond strength with and without post-silanization. **Dental Materials**, v.21, n.5, p.437–444, 2005.
- GORACCI C. et al. The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between Microtensile and push-out bond strength measurements. **European Journal of Oral Sciences**, v.112, n.4, p.353-361, 2004.
- IGLESIAS J.G. et al. Effect of glass fiber surface treatments on mechanical strength of epoxy based composite material. **Journal of colloid and interface science**, n.250, p.251-260, 2002.
- JONGSMA L. A. et al. Benefits of a two-step cementation procedure for prefabricated fiber posts. **Journal of Adhesive Dentistry**, v.12, n.1, p.55-62, 2010.

- LANZA A. et al. 3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor. **Dental Materials**, v.21, n.8, p.709-715, 2005.
- LASSILA L. V. J. et al. Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. **Dental Materials**, v.20, n.1, p.29-36, 2004.
- MAGNI E. et al. Adhesion between fiber posts and resin luting agents: a Microtensile bond strength test and an SEM investigation following different treatments of the post surface. **The Journal of Adhesive Dentistry**, v.9, n.2, p.195-202, 2007.
- MALFERRARI S.; MONACO C.; SCOTTI R. Clinical evaluation of teeth restored with quartz fiber-reinforced epoxy resin posts. **The International Journal of Prosthodontics**, v.16, n.1, p.39-44, 2003.
- MALLMANN A. et al. Microtensile bond strength of Light- and Self-cured Adhesive Systems to Intraradicular Dentin Using a Translucent Fiber Post. **Operative Dentistry**, v. 30, n.4, p.500-506, 2005.
- MANNOCCI F.; FERRARI M.; WATSON T. F. Intermittent loading of teeth restored using quartz fiber, carbon-quartz fiber, and zirconium dioxide ceramic root canal posts. **Journal of Adhesive Dentistry**, v.1, n.2, p.152-158, 1999.
- MANNOCCI F.; SHERRIF M.; WATSON T. F. Three-point bending test of fiber posts. **Journal of Endodontics**, v.27, n.12, p.758-761, 2001
- MARSHALL S.J. et al. A review of adhesion science. **Dental Materials**, v. 26, n. 2, p. 11-16, 2010.
- MAZZITELLI C. *et al.* Surface Roughness Analysis of Fiber Post Conditioning Processes. **Journal of Dental Research**, v.87, n.2, p.186-190, 2008.
- MONTICELLI F. et al. A simple etching technique for improving the retention of fiber posts to resin composites. **Journal of Endodontics**, v.32, n.1, p.44-47, 2006b
- MONTICELLI F. et al. Improving the Quality of the Quartz Fiber Postcore Bond Using Sodium Ethoxide Etching and Combined Silane/Adhesive Coupling. **Journal of Endodontics**, v.32, n. 5, 2006a
- MONTICELLI F. et al. Post-surface conditioning improves interfacial adhesion in post/core restorations. **Dental Matererials**, v.22, n.7, p.602-609, 2006.
- MONTICELLI F. et al. Surface Treatments for Improving Bond Strength to Prefabricated Fiber Posts: A Literature Review. **Operative Dentistry**, v.33, n.3, p.346-355, 2008.

- NISHIYAMA N. et al. Influence of adsorption characteristics of silane on hydrolytic stability of silane at the silica-matrix interface. **Composites**, n.26, p.309-313, 1995.
- PAPADOPOULOS T. et al. Experimental and numerical determination of the mechanical response of teeth with reinforced posts. **Biomedical Materials**, v.5, n.3, p.035009, 2010.
- PEGORETTI A. et al. Finite element analysis of glass fiber reinforced composite endodontic posts. **Biomaterials** v.23, n.13, p.2667-2682, 2002.
- PIERRISNARD L. et al. Corono-radicular reconstructions of pulpless teeth: a mechanical study using finite element analysis. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, n.88, v.4, p. 442-448, 2002.
- PLOTINO G. et al. Flexural properties of endodontic posts and human root dentin. **Dental Materials**, n.23, p. 1129-1135, 2007.
- RADOVIC I. et al. The effect of sandblasting on adhesion of a dual-cured resin composite to methacrylic fiber posts: Microtensile bond strength and SEM evaluation. **Journal of Dentistry**, v.35, n., p.496-502, 2007.
- SAHAFI A. et al. Bond strength of resin cement to dentin and to surface-treated posts of titanium alloy, glass fiber and zirconia. **The Journal of Adhesive Dentistry**, v.5, n.2, p.153-162, 2003.
- SCHLICHTING L. H. et al. Composite resin reinforced with pre-tensioned glass fibers. Influence of prestressing on flexural properties. **Dental Materials**, v. 26, p. 118-125, 2010.
- SEGERSTROM S.; ASTBACK J.; EKSTRAND K. D. A retrospective long term study of teeth restored with prefabricated carbon fiber reinforced epoxy resin posts. **Swedish Dental Journal**, v.30, n.1, p.1-8, 2006.
- da SILVA L. M. et al. Influence of different adhesive systems on the pull-out bond strength of glass fiber posts. **Journal of Applied Oral Science**, v.16, n.3, p.232-235, 2008.
- SOARES C. J. et al. Influence of airborne particle abrasion on mechanical properties and bond strength of carbon/epoxy and glass/ bis-gma fiber-reinforced resin posts. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v.99, n.6, p.444-454, 2008a.

- SOARES C. J. et al. Finite element analysis and bond strength of a glass post to intraradicular dentin: Comparison between Microtensile and push-out tests. **Dental Materials**, v.24, n.11, p.1405–1411, 2008b.
- TAY F. R. et al. Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: a theoretical modeling approach. **Journal of Endodontics**, v.31, n.8, p.584-589, 2005.
- TAY F. R.; PASHLEY D. H. Monoblocks in root canals – a hypothetical or a tangible goal. **Journal of Endodontics**, v.33, n.4, p.391-398, 2000.
- UKON S. et al. Influence of different elastic moduli of dowel and core on stress distribution in root. **Dental Materials Journal**, v.19, n.1, p. 50-64, 2000.
- VALANDRO L.F. et al. Effect of silica coating on flexural strength of fiber posts. **The International Journal of Prosthodontics**, v.19, n.1, p. 74-76, 2006.
- VALANDRO L. F. et al. Microtensile bond strength between a quartz fiber post and a resin cement: effect of post surface conditioning. **The Journal of Adhesive Dentistry**, v.8, n.2, p.105-111, 2006a.
- VALANDRO L. F. et al. Effect of Mechanical Cycling on the Push-out Bond Strength of Fiber Posts Adhesively Bonded to Human Root Dentin. **Operative Dentistry**, v.32, n.6, p.579-588, 2007.
- VANO M. et al. The adhesion between fiber posts and composite resin cores: the evaluation of microtensile bond strength test following various surface chemical treatments to posts. **International Endodontic Journal**, v.39, n.1, p.31-39, 2005.
- WISKOTT H. W. A.; NICHOLS J. I.; BELSER U. C. Stress fatigue: basic principles and prosthodontic implications. **The International Journal of Prosthodontics**, v.8, n.2, p.105-116, 1995.
- YENISEY M., KULUNK S. Effects of chemical surface treatments of quartz and glass fiber posts on the retention of a composite resin. **Journal of Prosthetic Dentistry**, n.99, p.38-45, 2008.