



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

**Centro Biomédico**

**Faculdade de Odontologia**

**Angela Alexandre Meira Dias**

**Influência da associação de catalisadores químicos na cimentação  
de pinos pré-fabricados de fibra de vidro**

Rio de Janeiro

2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Angela Alexandre Meira Dias

**Influência da associação de catalisadores químicos na cimentação  
de pinos pré-fabricados de fibra de vidro**



Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Dentística.

Orientador : Prof. Dr. Hélio Rodrigues Sampaio Filho

Rio de Janeiro

2010

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ/REDE SIRIUS/CBB

D541 Dias, Angela Alexandre Meira.  
Influência da associação de catalisadores químicos na cimentação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro / Angela Alexandre Meira Dias. – 2010.  
107 f.

Orientador: Hélio Rodrigues Sampaio Filho.  
Tese (doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Odontologia.

1. Materiais dentários. 2. Cimentos de resina. 3. Adesão (Odontologia). 4. Polimerização. 5. Resistência ao cisalhamento. I. Sampaio Filho, Hélio. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Odontologia. III. Título.

CDU  
616.314

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

---

Assinatura

---

Data

Angela Alexandre Meira Dias

**Influência da associação de catalisadores químicos na cimentação  
de pinos pré-fabricados de fibra de vidro**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Dentística.

Aprovada em 08 de fevereiro de 2010.

Orientador:

---

Prof. Dr. Hélio Rodrigues Sampaio Filho  
Faculdade de Odontologia da UERJ

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Mauro Sayão de Miranda  
Faculdade de Odontologia da UERJ

---

Profa. Dra. Zilda Maria Castro de Carvalho  
Faculdade de Odontologia da UFRJ

---

Prof. Dr. Vicente de Paulo Aragão Saboia  
Faculdade de Odontologia da UFC

---

Prof. Dr. Marcos de Oliveira Barceleiro  
Faculdade de Odontologia da UFF- Nova Friburgo

---

Prof. Dr. Luís Alexandre Maffei Sartini Paulillo  
Faculdade de Odontologia de Piracicaba - Unicamp

Rio de Janeiro

2010

## DEDICATÓRIA

À **Deus** por me permitir escrever as linhas que se seguem.

Às minhas mais importantes produções, **Maria Ana**, que a despeito de ser tão jovem é capaz de me ensinar muito sobre o amor e o respeito ao próximo e **Ana Luísa**, por seu “alto astral” que é contagiante, assim como sua gostosa gargalhada, que me faz muito bem. Filhas, obrigada pela felicidade que me dão a cada dia.

Ao **Helinho**, meu marido, amigo e companheiro de tantos anos, presente e importante em todas as minhas conquistas e vitórias, que acabam sempre sendo “Nossas”. Você é muito importante para mim.

Aos meus Pais **Antônio Salvante** e **Maria do Socorro** pelo exemplo de vida, dedicação e amor incondicionais.

Aos meus irmãos **Joana, Sandra, Diana, Eric** e **Silvana**, grandes pessoas, pelas constantes provas de que fazem parte do meu alicerce.

Às minhas filhas em Cristo **Heloísa, Marina, Isabella** e **Stella**, motivo de muito orgulho da Dinda.

Aos meus sobrinhos **Pedro, Heloísa, Erick, Marina, Ives, Isabella, Guilherme, Eduardo, Júlia, Giovanna, Luíza** e **Stella**, por darem mais cores a minha vida.

## AGRADECIMENTOS

A **Deus** por seu amor incondicional por mim e por você.

Ao **Governo do Estado do Rio de Janeiro** por ter me proporcionado a oportunidade de fazer este curso, financiando-o.

Ao meu orientador e marido e **Prof. Dr. Hélio Rodrigues Sampaio Filho**, pelo companheirismo, parceria, dedicação e motivação para a execução deste trabalho.

Ao meu amigo **Prof. Dr. Luís Alexandre Maffei Sartini Paulillo**, dono de um coração enorme, pela incansável dedicação, parceria, orientação e também pelas sábias palavras e sábios aconselhamentos, sempre.

Aos Professores Doutores **Mauro Sayão de Miranda** e **Kátia Regina Hostílio Cevantes Dias** pela dedicação e empenho em fazer deste, um curso de qualidade.

Aos queridos funcionários da Secretaria de Mestrado e Doutorado, **Antônio (o Tuninho), Denise e José Carlos** pela forma de como vêm colaborando conosco, sempre como presteza, muito apoio e dedicação.

À minha sogra **Ana Melo Sampaio**, pelo constante apoio e dedicação durante a execução deste trabalho.

Às minhas parceiras do lar **Elízia Maria Ribeiro dos Santos** e do consultório **Alsená da Silva Cruz**, por serem o que nós chamamos de “braço direito”. Pessoas muito importantes no meu dia-a-dia.

Aos meus colegas de trabalho **Alexandre Suarez, Alexandre Novis, Estácio de Sá, Beatriz Tholtz, Sérgio Dias e Kátia Dias**, pela verdadeira parceria e confiança. É muito bom trabalhar com vocês.

Aos colegas de turma de doutorado e mestrado pela amizade e convívio agradável.

A **Faculdade de Odontologia de Piracicaba, FOP-UNICAMP**, por estar sempre de “portas abertas” para aqueles que buscam a pesquisa.

Ao biólogo e técnico em MEV **Adriano Luis Martins** da FOP-UNICAMP, pela disponibilidade e atenção dispensadas na observação dos espécimes em MEV.

Ao Professor **Carlos Tadeu dos Santos Dias**, Titular do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP, pela grande colaboração na análise estatística dos dados obtidos nos diferentes ensaios deste trabalho.

Aos meus **clientes e pacientes** pela compreensão de que minha disponibilidade limitada se devia a este momento especial de minha formação profissional. Vocês realmente foram “pacientes” comigo.

Ao Mestrando em Dentística da FOP- UNICAMP **Eduardo José Carvalho de Souza Júnior** pela grande ajuda no ensaio de conversão, assim como à Doutoranda em Dentística da FOP- UNICAMP **Cintia Tereza Pimenta de Araújo** pela presteza e dicas no ensaio de nanoinfiltração. Vocês colaboram muito com este trabalho.

Às minhas amigas **Anninha, Cristiane, Graça, Madú, Cyntia, Dayse, Bia, Regina, Rosana, Eliane e Gláucia** por serem as irmãs que eu escolhi ter.

Às minhas companheiras e meus professores queridos da malhação diária, pelo convívio sempre muito agradável e pelo pacto que fizemos, sem saber, de tornar nossos encontros renovadores.

## RESUMO

DIAS, Angela Alexandre Meira. **Influência da associação de catalisadores químicos na cimentação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro.** 2010. 107f. Tese (Doutorado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro; Rio de Janeiro, 2010.

O objetivo deste estudo foi avaliar a Influência da associação de catalisadores químicos junto a diferentes sistemas adesivos autocondicionantes e cimentos resinosos de dupla polimerização, na cimentação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, quanto a sua resistência ao cisalhamento por extrusão - *push out*, seu grau de conversão e nanoinfiltração. Foram utilizadas trinta raízes bovinas extraídas, que tiveram seus canais obturados com guta-percha termoplastificada, divididas em três grupos: G1 - Adper SE Plus /Rely X ARC; G2- Adper SE Plus / Catalisador Scotchbond + Rely X ARC ; G3- Clearfil SE Bond / ED Primer + Panavia F. Após a cimentação dos pinos foram obtidas fatias das raízes, com 1mm de espessura, dos terços cervical (C), médio (M) e apical (A). O ensaio de resistência ao cisalhamento por extrusão foi realizado em máquina de ensaio universal EMIC D500 com carga de 100KN à velocidade de 1,0 mm/min, até o deslocamento do pino. Os dados obtidos no ensaio foram tabulados e submetidos à análise estatística. A análise de variância a dois critérios mostrou que apenas os fatores grupo e profundidade foram significativos, não sendo significativa a sua interação. O resultado do teste de Tukey ( $p \geq 0,05$ ), para o fator grupo, mostrou que a menor média de resistência ao cisalhamento por extrusão foi obtida pelo grupo 3, que apresentou diferença estatística significativa para os grupos 1 e 2 que não diferiram entre si. Para o fator Profundidade a maior média foi obtida no terço cervical que apresentou diferença estatística significativa para os terços médio e apical que não diferiram entre si: A análise do grau de conversão foi feita após vinte e quatro horas e os fatores estudados foram os cimentos resinosos Panavia F e Rely X ARC e os catalisadores químicos ED Primer e Catalisador Scotchbond, na forma incorporada ou aplicada superficialmente aos cimentos, formando 10 grupos experimentais. Para o grau de conversão, o teste de Tukey mostrou que o catalisador químico não aumentou o grau de conversão do RelyX ARC, já para o Panavia F, este aumentou significativamente seu grau de conversão. Quanto a análise em MEV da nanoinfiltração para o fator grupo, o resultado do teste de Tukey ( $p \geq 0,05$ ) mostrou que a maior média foi obtida pelo grupo 3 que apresentou diferença estatística significativa para os grupos 1 e 2, que não diferiram entre si. Para o fator Profundidade a maior média foi obtida no terço apical que apresentou diferença estatística significativa para o terço cervical, que não diferiu do terço médio. Conclusões: 1- A associação de catalisadores químicos não aumentou a resistência ao cisalhamento por extrusão dos pinos de fibra de vidro. 2- O cimento Panavia F é dependente de catalisador aumentar o grau de conversão. 3- A associação de catalisadores químicos não foi capaz de alterar o padrão da camada híbrida, representado pela nanoinfiltração. 4- A nanoinfiltração está associada inversamente ao grau de conversão dos sistemas de cimentação, o que contribui negativamente para a resistência adesiva de pinos de fibra de vidro.

Palavras-chave: Materiais dentários. Cimentos de resina. Adesão (Odontologia). Polimerização. Resistência ao cisalhamento.

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the influence of catalyst solutions association with different self-etching adhesive systems and dual-cured resin luting agents used in prefabricated fiberglass posts cementation on the push-out bond strength test, degree of conversion and nanoleakage. Thirty extracted bovine roots were endodontically treated with thermoplastic gutta-percha and divided in three groups G1- Adper SE Plus /RelyX ARC; G2- Adper SE Plus / Scotchbond Catalyst + RelyX ARC; G3- Clearfil SE Bond / ED Primer + Panavia F. After post cementation, roots were sectioned into 1mm thick slices of cervical (C), middle (M) and apical(A) regions. Push-out tests were performed at a cross-head speed of 1,0 mm/min using a universal EMIC D500 testing machine applying 100KN load until the post dislodgment. The analysis of variance based on two criteria showed that only the factors group and depth were significant, their interaction was not significant. The Tukey's test ( $p \geq 0.05$ ) result for the factor group showed that the lowest average was obtained by the group 3, which showed significant difference from groups 1 and 2, that did not differ. The highest average for the depth factor, was obtained in the cervical third, which was statistically different from the middle and apical thirds that did not differ. The degree of conversion analysis was made after twenty-four hours and the studied factors were the Panavia F and Rely X ARC resin cements and ED Primer and Scotchbond chemical catalysts as incorporated or surface applied to the cement, forming 10 groups. For the degree of conversion, the Tukey's test showed that chemical catalyst did not increase the degree of conversion of RelyX ARC, but significantly increased the degree of conversion of Panavia F. The result of Tukey's test ( $p \geq 0.05$ ) of SEM analysis of nanoleakage for the group factor showed that the highest average was obtained by the group 3, statistically different from groups 1 and 2, that did not differ. For the depth factor, the highest average was obtained in the apical third, statistically different from the cervical third, which did not differ from the middle third. Conclusions: 1- The catalyst solutions association has not increased push-out bond strength of prefabricated fiberglass post. 2- Panavia F cement is dependent of catalyst solutions association to increase its degree of conversion. 3- The catalyst solutions association was not able to change the hybrid layer pattern, represented by nanoleakage; 3- Nanoleakage is inversely associated with the degree of conversion of the luting system, which contributes negatively to the bond strength of fiberglass posts.

Keywords: Dental materials. Resin Cements. Adhesion (Dentistry). Polimerization. Shear strength.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1-	Lista dos materiais empregados no estudo, sua composição e fabricante.....	42
Figura 1-	Fotografia dos materiais utilizados neste estudo.....	43
Figura 2-	Preparo do conduto para cimentação do pino de fibra de vidro. A- Início do preparo do conduto com broca de Largo nº5 . B- Finalização do preparo do conduto com 12mm de profundidade. C- Radiografia para avaliação do conduto. D- Pino posicionado. E- Radiografia do pino posicionado no conduto.....	45
Figura 3-	Uma gota do primer (A) e do adesivo (B) sistema adesivo Adper SE Plus, utilizado no grupo 1, dispensadas no recipiente fornecido pelo fabricante.....	47
Figura 4-	Sequência adesiva utilizada no grupo 1. A- Pincel contendo primer. B- Primer sendo aplicado na embocadura do canal. C-Primer aplicado em todo o conduto. D- Pincel contendo o adesivo. E- Aplicação do adesivo. F- Jato de ar por 10 segs. G- Segunda aplicação do adesivo. H- Novo jato de ar por 10 segs. I- Remoção do excesso de material com cone de papel absorvente. J- Fotoativação por 40 segundos na vestibular e na lingual.....	48
Figura 5-	Sequência de cimentação do Grupo 1. A- Seringa de insulina e agulha descartável. B- Inserção do cimento na seringa de insulina.C- Aplicação inicial do cimento no conduto. D- Conduto preenchido com cimento. E- Inserção do pino de fibra de vidro. F- Remoção do excesso com pincel. G- Fotoativação por vestibular. H- Fotoativação por lingual.....	48
Figura 6-	Sistema adesivo utilizado no grupo 2. A- Adper SE Plus. B- Catalisador Scotchbond.....	49

Figura 7-	Sequência adesiva utilizada no grupo 2. A-B-C- Aplicação do Primer. D-Pincel contendo adesivo. E- Aplicação do adesivo. F- Jato de ar por 10 segs. G- 2ª. aplicação do adesivo. H- Novo jato de ar por 10 segs. I aplicação do catalisador. J- Remoção do excesso de material com cone de papel absorvente. L- Fotoativação por vestibular e por lingual.....	50
Figura 8-	Sequência adesiva utilizada no grupo 3. A- Clearfil SE Bond. B-C-D- Aplicação do primer. E- Jato de ar. F-G- Aplicação do adesivo. H- Remoção do excesso com cone de papel absorvente. I- Jato de ar por 3 segs. J- Fotoativação por vestibular e por lingual. L- ED Primer. M- Aplicação do catalisador. N- Jato de ar por 2 segs. O- Remoção do excesso com cone de papel absorvente.....	51
Figura 9-	Sequência na cimentação do pino de fibra de vidro com o cimento Panavia F. A- Seringa de insulina e agulha descartável. B- Inserção do cimento na seringa de insulina. C- Aplicação inicial do cimento no conduto. D- Conduto preenchido com cimento. E- Inserção do pino de fibra de vidro. F- Remoção do excesso com pincel. G- Fotoativação por vestibular. H- Fotoativação por lingual. I- Aplicação do Oxiguard II.....	52
Figura 10-	A- Recortadora Isomet 1000. B- Raiz fixada na placa de vidro e posicionada sobre o disco diamantado fixado à recortadeira. C- Execução do primeiro corte. D- Cortes executados nos terços cervical, médio e apical da raiz.....	53
Figura 11-	A- Localização dos cortes. B- Fatias dos terços cervical, médio e apical. C- Espessura de cada fatia- 1mm.....	54
Figura 12-	A- Máquina de ensaio. B- Corpo-de-prova posicionado na base da máquina de ensaio. C- Visão aproximada da ponta ativa. D- Deslocamento do pino de fibra de vidro.....	55
Figura 13-	A - Matriz com dimensões 1 x 1 x 7mm preenchida com cimento resinoso. B- Fotoativação do cimento. C- Visão da parte superior do espectrômetro Spectrum 100 Optica; PerkinElmer, MA, USA. D- Visão aproximada da região onde se encontra o cristal de Seleneto de zinco para a leitura das amostras.....	56

Quadro 2-	Cimentos resinosos e associações aos catalisadores, bem como o modo de associação, superficial ou incorporado.....	57
Figura 14-	A- Corpos-de-prova submersos em nitrato de prata amoniacal 50%. B- Iluminação fluorescente direta por meio de uma luminária; C- Preparo para a inclusão. D- Amostra incluída em resina de poliestireno.....	60
Figura 15-	A- Amostra antes da cobertura com carbono. B- Amostra Após a cobertura com carbono.....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Resultado da análise de variância para o ensaio de resistência ao cisalhamento por extrusão ( <i>push-out</i> ) de sistemas para fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, com médias transformadas ( $\log_{10}$ ).....	62
Tabela 2-	Resultado da decomposição da análise de variância para o ensaio de resistência ao cisalhamento por extrusão ( <i>push-out</i> ) de sistemas para fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, com médias transformadas ( $\log_{10}$ ) .....	62
Tabela 3-	Resultado do teste de Tukey para o Fator Grupo no ensaio de resistência ao cisalhamento por extrusão ( <i>push-out</i> ) de sistemas para fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, dados originais .....	63
Tabela 4-	Resultado do teste de Tukey para o Fator Parcela no ensaio de resistência ao cisalhamento por extrusão ( <i>push-out</i> ) de sistemas para fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, dados originais.....	63
Tabela 5-	Resultado do teste de análise de variância para o ensaio de Grau de Conversão.....	64
Tabela 6-	Resultado do teste de Tukey para o ensaio do Grau de conversão.....	64
Tabela 7-	Resultado da análise de variância para o ensaio de nanoinfiltração para sistemas de fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro.....	65
Tabela 8-	Resultado da decomposição da análise de variância para o ensaio de nanoinfiltração para sistemas de fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, com médias transformadas ( $\log_{10}$ ).....	65
Tabela 9-	Resultado do teste de Tukey para o Fator Grupo no ensaio de nanoinfiltração de sistemas para fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, dados originais.....	66
Tabela 10-	Resultado do teste de Tukey para o Fator Parcela, no ensaio de nanoinfiltração para sistemas de fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, dados originais.....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS

pH	Potencial de hidrogênio iônico
Seg	Segundo
4-META	ácido 4 metacriloxietil trimetílico
MMA_TBB	tri-n-butil-borano
HEMA	2-hidroxietilmetacrilato
Phenyl-P	2-metacrolixietil-fenil hidrogênio fosfato
(-OH)	Grupo hidroxila
(-COOH)	Grupo carboxílico
(-SO <sub>3</sub> H)	Grupo sulfônico
[-O-P-(OH)(OR)]	Grupo fosfórico
Bis_GMA	Bisfenol A glicidilmetacrilato
TEGDMA	Trietileno glicol dimetacrilato
UDMA	Uretanodimetacrilato
UEDMA	Uretano etidimetacrilato
TEGDMA	Trietileno glicol dimetacrilato
$\gamma$ -MPS	$\gamma$ -metacriloxipropil-trimetoxisilano
$\mu$ m	Micrômetro
nm	Nanômetro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
cm	Centímetro
cm <sup>-1</sup>	Centímetro recíproco
MET	Microscopia eletrônica de transmissão
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
DMAEMA	dimetilaminoetil metacrilato
DMPTI	dimetil-p-toluidina
Fator-C	Fator de configuração cavitária
MDP	Metacrilóiloxidecildihidrogênio fosfato
Mw/Cm <sup>2</sup>	Miliwatts por centímetro quadrado
n°	Número

G	Grupo
™	Marca comercial
®	Marca registrada
MPa	MegaPascal
DP	Desvio Padrão
ISO	International Standard Organization
Kgf	Kilograma força
KN	Kilo Newton
FTIR	Infravermelho com transformada de Fourier
IOG <sub>10</sub>	Logaritmo na base 10
AOR	Adper SE Plus + Rely X
ACR	Adper SE Plus + Catalisador 3M + Rely X
CEP	Clearfil SE Bond + Catalisador + Panavia

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
N	Newton
$\mu$	Micrômetro
°C	Grau
°	Grau Celsius
=	Igual
≠	Diferente
>	Maior
<	Menor

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
1	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	20
2	<b>PROPOSIÇÃO</b> .....	41
3	<b>MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	42
3.1	<b>Materiais</b> .....	42
3.2	<b>Método</b> .....	43
3.2.1	<u>Seleção dos dentes</u> .....	43
3.2.2	<u>Preparo dos canais radiculares</u> .....	44
3.2.2.1	Preparo endodôntico.....	44
3.2.2.2	Obturação dos canais radiculares com cimento resinoso sem eugenol.....	44
3.2.2.3	Preparo intrarradicular.....	45
3.2.3	<u>Grupos Experimentais</u> .....	46
3.2.4	<u>Cimentação do pino</u> .....	46
3.2.4.1	Grupo 1- (AOR).....	46
3.2.4.2	Grupo 2 - (ACR).....	49
3.2.4.3	Grupo 3 - (CEP) .....	50
3.2.5	<u>Seccionamento das Raizes em Terços</u> .....	52
3.2.6	<u>Ensaio Mecânico de Resistência ao Cisalhamento por Extrusão – Push Out</u> .....	54
3.2.6.1	Delineamento estatístico para o ensaio de resistência ao cisalhamento por extrusão.....	55
3.2.7	<u>Análise do Grau de Conversão</u> .....	55
3.2.7.1	Delineamento estatístico para a análise do grau de conversão.....	58

3.2.8	<u>Análise da Nanoinfiltração</u> .....	59
3.2.8.1	Delineamento estatístico para a análise da nanoinfiltração.....	61
4	<b>RESULTADOS</b> .....	62
4.1	<b>Análise Estatística do Ensaio Mecânico de Resistência ao Cisalhamento por Extrusão – <i>Push Out</i></b> .....	62
4.2	<b>Análise Estatística do Grau de Conversão</b> .....	63
4.3	<b>Análise Estatística da Nanoinfiltração</b> .....	65
5	<b>DISCUSSÃO</b> .....	67
6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	75
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	76
	<b>APÊNDICE A</b> - Relatórios do ensaio de resistência ao cisalhamento por extrusão- <i>Push-out</i> .....	88
	<b>APÊNDICE B</b> - Valores (%) obtidos na análise do grau de conversão, após 24 hs.....	97
	<b>APÊNDICE C</b> – Exemplos de Gráficos gerados durante a análise do grau de conversão.....	99
	<b>APÊNDICE D</b> – Fotomicrografias da análise da nanoinfiltração	102
	<b>APÊNDICE E</b> – Análise da nanoinfiltração pelo Programa Image Tool 3.0.....	107

## INTRODUÇÃO

A restauração de dentes despolpados por meio da utilização de sistemas de pinos ou retentores intrarradiculares tem sido estudada, com o objetivo de se alcançar um prognóstico favorável em longo prazo. Dentes tratados endodonticamente apresentam um maior risco de apresentar falhas biomecânicas do que dentes vitais<sup>1</sup>, principalmente nos casos onde há a perda expressiva de tecidos, advinda não só do próprio acesso endodôntico, mas também devido a lesões cariosas, fraturas, substituição de restaurações ou reabsorções internas<sup>2,3</sup>.

A utilização de pinos intrarradiculares pré-fabricados tornou-se um procedimento amplamente aceito para a restauração de dentes com tratamento endodôntico<sup>4</sup>, uma vez que é de fácil instalação e necessita de menor tempo clínico, quando comparado a núcleos metálicos fundidos<sup>4,5</sup>.

Entre os diferentes sistemas de pinos existentes no mercado, destacam-se os pinos pré-fabricados de fibra de vidro, que apresentam módulo de elasticidade semelhante ao da dentina, translucidez natural, excelente resultado estético além possibilitar a construção de uma unidade mecanicamente homogênea<sup>6,7</sup>.

A técnica utilizada para a fixação destes pinos está baseada na adesão à dentina intrarradicular, sendo utilizados sistemas adesivos<sup>8</sup> e cimentos resinosos<sup>9</sup>. Os sistemas adesivos propiciam uma união micromecânica por meio da formação da camada híbrida<sup>10</sup>, enquanto que o cimento resinoso age como um dissipador de tensões devido a sua resiliência<sup>9</sup>.

Os sistemas adesivos que necessitam de prévio condicionamento ácido são aplicados em três passos ou dois passos. Os adesivos autocondicionantes podem necessitar de dois passos ou de passo único para a sua aplicação, estes denominados “*all-in-one*”. Os sistemas autocondicionantes de dois passos têm o pH em torno de 2, sendo capazes de dissolver parcialmente a dentina, formando uma camada híbrida superficial, com cristais de hidroxiapatita disponíveis entre as fibras colágenas, que se ligam quimicamente a monômeros funcionais específicos dos grupos carboxílico e fosfato<sup>11</sup>. Já os adesivos “*all-in-one*” tem o pH menor que 1, por utilizarem monômeros ácidos hidrófilos<sup>4,5</sup>. A adesão proporcionada por estes sistemas formam camadas híbridas que se comportam como membranas

semipermeáveis, permitindo o movimento de água pela interface adesiva, mesmo após sua polimerização<sup>12</sup>, o que contribui para a redução da resistência de união.

Estes monômeros ácidos, não polimerizados pela presença de oxigênio, podem interferir na qualidade de reação de polimerização do agente de cimentação resinoso quimicamente ativado ou dual, em situações em que a luz do fotopolimerizador não consiga alcançar o cimento de forma efetiva<sup>13</sup>. Neste caso, a adição de catalisadores químicos aos sistemas de união simplificados parece ser uma opção para diminuir a influência dos monômeros ácidos não polimerizados<sup>14</sup>, oferecendo radicais livres que funcionam como iniciadores da reação química de polimerização do compósito, como o fenil ou sulfonil benzeno, aumentando o grau de conversão do adesivo, provavelmente reduzindo sua permeabilidade<sup>15</sup>. De acordo com Sano et al.<sup>16</sup> (1994), a habilidade dos sistemas adesivos em estabelecerem uma adesão confiável à dentina baseia-se na completa infiltração do monômero na rede de fibras colágenas. Segundo os mesmos autores, a infiltração inadequada pode resultar na diminuição da resistência adesiva e aumento da microinfiltração ao longo do tempo. Foi por meio da exposição ao nitrato de prata, que Sano et al.<sup>17</sup> (1995), mostraram que a infiltração na interface da camada híbrida poderia existir mesmo na ausência de *gap*. Assim, o termo nanoinfiltração foi sugerido para distinguir esta infiltração da microinfiltração típica.

Já está estabelecido que compósitos com alto grau de conversão tenham boas propriedades mecânicas<sup>18</sup>. Segundo El-Mowafy, Rubo e El-Badrawy<sup>19</sup> (1999), cimentos resinosos inadequadamente polimerizados estão associados a problemas, como a microinfiltração, susceptibilidade à degradação e diminuição das propriedades mecânicas.

Sabendo-se que são fatores essenciais para a qualidade da retenção de pinos pré-fabricados de fibra de vidro no interior do canal radicular, a formação da camada híbrida e polimerização efetiva do cimento resinoso, torna-se relevante analisar a influência da associação de catalisadores químicos à sistemas adesivos autocondicionantes e cimentos resinosos duais em relação a resistência ao cisalhamento por extrusão - *push out*, grau de conversão e nanoinfiltração.

## 1 REVISÃO DA LITERATURA

### Substrato

Em função do avanço da odontologia preventiva e social e dos tratamentos reabilitadores modernos que resultam no aumento da longevidade dos dentes humanos naturais, estes estão tornando-se cada vez mais escassos para estudos científicos ou não disponíveis em número suficiente para o propósito dos mesmos<sup>20</sup>. Outro fator que pode justificar a escassez dos mesmos é a intervenção dos comitês de ética em pesquisa que obrigam a doação do órgão pelo seu doador. Dentes humanos são morfológica e histologicamente semelhantes aos dentes de outros mamíferos. Os incisivos, porém, têm sido os preferidos devido ao seu tamanho, sendo usados para testes *in vitro* em diversas pesquisas na odontologia<sup>20</sup>.

O uso de dentes bovinos justifica-se por apresentarem algumas vantagens como a facilidade de serem adquiridos, serem grandes e apresentarem superfícies planas e largas. Cada mandíbula bovina é composta por oito incisivos e, sendo os animais abatidos aproximadamente na mesma idade, pode-se controlar a faixa etária dos dentes e seu tempo de armazenamento<sup>21</sup>. Nakamichi, Iwaku e Fusayama<sup>22</sup> (1983), sugeriram que o uso de dentina bovina de incisivo é a mais apropriada alternativa para estudo de adesão de dentina humana. Estudos realizados por Reeves et al.<sup>23</sup> (1995), tiveram como objetivo avaliar o comportamento de 3 três sistemas adesivos quanto a microinfiltração e determinar se dentes bovinos eram substratos comparáveis aos dentes humanos. Utilizaram 60 dentes (30 humanos e 30 bovinos) e concluíram que não havia diferença estatisticamente significativa entre a microinfiltração de materiais utilizados em dentes humanos e bovinos. Imfeld,<sup>24</sup> (2001), avaliou as características morfológicas como diâmetro dos túbulos dentinários, a composição química, as propriedades mecânicas bem como as características físicas dos dentes humanos e bovinos e ainda o efeito da escovação e abrasivos sobre estes e concluiu que se métodos padronizados forem utilizados, raízes de bovinos podem ser usadas em lugar de raízes humanas.

Outros estudos os apontam como sendo uma alternativa viável para a substituição de dentina humana e têm sido muito utilizados para testes de

resistência adesiva de sistemas de pinos de fibra de vidro <sup>25,26</sup>. Reis et al. <sup>27</sup> (2004), concluíram em seu trabalho que dentes bovinos provaram ser um possível substituto de dentes humanos em testes de adesividade em esmalte e dentina, uma vez que encontraram semelhanças na estrutura de dentes humanos e bovinos usando microscopia eletrônica de varredura. Campos, Campos e Vitral<sup>28</sup> (2008), concluíram em seu estudo, uma revisão bibliográfica sobre o uso de dentes bovinos como substitutos de dentes humanos em pesquisas odontológicas, que os incisivos bovinos apresentam similaridades anatômicas e histológicas, mostrando-se como excelentes substitutos para dentes humanos na pesquisa odontológica.

### **Sistemas adesivos**

Foi baseado em técnicas navais de impermeabilização de cascos de navios, que Buonocore<sup>29</sup> (1955) inspirou-se, na tentativa de aderir a resina acrílica ao esmalte dental. Para tal, utilizou como agente condicionador o ácido fosfórico a 85%, observando um aumento considerável da retenção da resina acrílica, consequência do aumento da molhabilidade desta e da área de superfície do esmalte, o que levava a um contato mais íntimo entre a resina e o esmalte. O processo de união foi descrito como um fenômeno puramente micromecânico, produzido pela penetração da resina por entre os espaços criados pelo condicionamento ácido para formar *tags* resinosos<sup>30</sup>. Desde então, os princípios e o mecanismo de união ao esmalte dental ficaram bem estabelecidos e os resultados bastante previsíveis. Devido ao sucesso obtido na adesão ao esmalte condicionado, o mesmo procedimento foi pensado para adesão ao substrato dentinário.

O primeiro relato de sucesso obtido no condicionamento ácido da dentina como estratégia de união ocorreu em 1979 com o trabalho de Fusayama et al. <sup>31</sup> (1979). Os autores demonstraram que os valores de união à dentina eram aumentados significativamente quando este substrato era condicionado com ácido fosfórico a 40% por 60 segundos. Como esse procedimento também era preconizado para a união ao esmalte, essa técnica ficou conhecida como técnica do condicionamento ácido total, ou seja, condicionamento da dentina e do esmalte simultaneamente. Entretanto, a concentração do ácido fosfórico e o tempo utilizados

eram demasiados, resultando no colapso das fibrilas colágenas<sup>32</sup>. O primeiro mecanismo de adesão dentinário confiável ao tecido dentinário foi descrito por Nakabayashi, Kojima e Masuhara<sup>33</sup> (1982). O sistema era baseado no uso da resina 4-META/ metil metacrilato e tri-n-butil borano (MMA-TBB) após o condicionamento da superfície dentinária com uma solução de ácido cítrico a 10% e cloreto férrico a 3% (solução 10-3). Os autores observaram que a solução removia a lama dentinária e desmineralizava a dentina intertubular subjacente em até 5 µm. O cloreto férrico mantinha as fibrilas colágenas num estado expandido, permitindo que os monômeros resinosos penetrassem através destas e se polimerizassem.

Essa nova estrutura foi denominada de camada híbrida, sendo essa união micromecânica responsabilizada pelos altos valores de união obtidos por essa técnica. Kanca<sup>34</sup> (1992) avaliou se a condição de umidade do substrato dentinário após o seu condicionamento com ácido fosfórico a 10% influenciaria nos valores de resistência de união. Os resultados mostraram que os valores de união aumentaram significativamente quando o substrato foi mantido úmido após a lavagem do ácido com água. Posteriormente foi demonstrado que a presença da água impede o colapso das fibrilas colágenas, mantendo-as em um estado expandido e possibilitando a penetração dos monômeros resinosos para a formação da camada híbrida<sup>10</sup>. Entretanto, essa penetração dos monômeros resinosos na dentina úmida só foi possível em função da presença do primer hidrófilo HEMA-água. A partir deste trabalho de Kanca<sup>34</sup> (1992), foi introduzido o conceito de técnica de adesão úmida. Os procedimentos de união nessa técnica consistiam inicialmente de três passos. No primeiro passo, o substrato dentinário era condicionado com ácido fosfórico em uma concentração que variava de 30 a 40%. Em seguida, o ácido era removido da cavidade através de lavagem com água e apenas o excesso desta água era removido, mantendo a dentina úmida para a posterior aplicação do primer bifuncional. Essa solução apresenta monômeros hidrófilos, que contêm grupos funcionais hidrófilos (-OH) e iônicos (ácidos; -COOH) para aumentar a sua adesão ao substrato dentinário úmido, e grupos metacrilatos para união ao adesivo hidrófobo aplicado no terceiro passo da técnica<sup>35</sup>.

Buscando reduzir o número de passos clínicos no procedimento adesivo, o passo seguinte foi a incorporação do *primer* e do adesivo em uma mesma solução, nos sistemas denominados de “frasco único”. Essa solução apresenta tanto monômeros hidrófilos quanto hidrófobos dissolvidos em solventes que podem ser

acetona, álcool-água ou água. Entretanto, tanto para os sistemas que empregam três passos de adesão com nos que utilizam dois passos, é difícil definir qual a umidade ideal a fim de se otimizar os valores de resistência de união<sup>36</sup>. Por outro lado, a escassez de água leva à diminuição dos espaços interfibrilares e, como conseqüência, à pobre infiltração dos monômeros resinosos para a formação da camada híbrida<sup>37</sup>. Salienta-se que essa umidade ótima é dependente do tipo de solvente utilizado, ou seja, a umidade que é considerada ideal para um adesivo à base de acetona, por exemplo, não o é quando o solvente utilizado é o etanol<sup>38</sup>.

Clinicamente, é extremamente difícil obter uma umidade ótima e uniforme em toda a extensão de uma cavidade preparada. Diante dessa sensibilidade na técnica de adesão úmida, surgiram no mercado, no início dos anos 90, os sistemas de união autocondicionantes, que dispensam a etapa de condicionamento prévio do substrato com ácido fosfórico e, por conseqüência, o controle da umidade após a lavagem deste. Entretanto, o primeiro sistema de união autocondicionante efetivo só surgiu a partir da utilização do monômero resinoso ácido 2-metacriloxietil-fenil hidrogênio fosfato (Phenyl-P). O aumento da concentração de Phenyl-P a níveis superiores a 20% levou ao desenvolvimento de *primers* autocondicionantes que podiam ser utilizados sobre a dentina preparada, coberta com lama dentinária, a fim de obter bons valores de resistência de união<sup>39</sup>.

Outros monômeros resinosos ácidos foram desenvolvidos ao longo dos anos para serem utilizados em sistemas de união autocondicionantes. Inicialmente, os sistemas de união autocondicionantes eram compostos por um *primer* autocondicionante que condicionava o substrato dental e o preparava para receber o adesivo propriamente dito, uma resina adesiva hidrófoba. Assim, a técnica possuía dois passos de aplicação. Buscando simplificar ainda mais o procedimento adesivo, a 3M ESPE (Seefeld, Alemanha) desenvolveu, em 1998, o primeiro sistema adesivo autocondicionante de passo único, denominado de Prompt-L-Pop<sup>40</sup>. Nesses sistemas, também chamados de “all-in-one” (todos em um), os monômeros hidrófobos e o sistema de polimerização são incorporados ao *primer* autocondicionante. Quimicamente, os monômeros resinosos ácidos podem apresentar, no grupo funcional ácido, os grupamentos fosfóricos [-O-P-(OH)(OR)], sulfônico (-SO<sub>3</sub>H) e carboxílico (-COOH)<sup>41</sup>. A acidez produzida por esses grupamentos ácidos possui grande importância nas características da união formada por esses sistemas adesivos autocondicionantes. O primeiro passo no

condicionamento do substrato é a penetração do sistema através da lama dentinária, que pode variar de espessura dependendo da forma como foi gerada<sup>42</sup>.

A ação efetiva dos sistemas autocondicionantes é mais crítica no substrato adamantino que, em virtude do seu maior conteúdo mineral, possui também uma maior capacidade em neutralizar a acidez do *primer*/adesivo<sup>43</sup>. Os sistemas adesivos autocondicionantes geralmente utilizam água como solvente, por esta levar à dissociação iônica do grupo ácido do monômero ácido funcional, o que promove o condicionamento do substrato<sup>44</sup>. A fim de diminuir o conteúdo de água residual, co-solventes como o etanol são adicionados à solução, acelerando a sua volatilização. A acetona também pode ser utilizada como co-solvente.

Diante da evolução e do estado atual dos sistemas de união, expostos anteriormente, Van Meerbeek et al.<sup>45</sup> (2003) classificaram os sistemas adesivos em três grandes categorias: convencionais (*etch-and-rinse*), que são aqueles que requerem o condicionamento prévio do substrato, sendo o ácido removido por lavagem antes da aplicação do adesivo; autocondicionantes e ionoméricos. Os adesivos convencionais são subdivididos em três e dois passos de aplicação, sendo os últimos também denominados de “frasco único”, uma vez que o *primer* e o adesivo estão na mesma solução. Já os autocondicionantes são subdivididos em dois passos de aplicação e de passo único. Os sistemas de união convencionais de dois passos e autocondicionantes de passo único são considerados sistemas simplificados, tendo em vista a redução do número de passos clínicos em relação aos outros sistemas de sua categoria.

Adesivos autocondicionantes classificados como “fortes”, têm o pH igual a 1 ou menor<sup>45</sup>. Esta alta acidez resulta em desmineralização mais profunda na dentina, onde o colágeno é exposto e praticamente toda a hidroxiapatita é dissolvida. Adesivos autocondicionantes “suaves” em geral têm o pH em torno de 2 a desmineralizam a dentina na profundidade de apenas 1  $\mu\text{m}$ . Esta desmineralização superficial ocorre parcialmente, deixando hidroxiapatita residual ainda ligada ao colágeno. A espessura da camada híbrida é, entretanto muito menor do que a produzida por adesivos autocondicionantes fortes<sup>45</sup>. A preservação de hidroxiapatita residual na camada híbrida pode servir como receptora para adesão química adicional<sup>11</sup>. Monômeros baseados em ácido carboxílico, como o 4-META (ácido 4 metacrilóxi-etil trimetílico) e fosfato, como o Phenyl-P (2-metacrilóxi-etil-fenil

hidrogênio fosfato) e 10-MDP(Metacriloiloxidecildihidrogênio fosfato) têm um potencial de adesão química ao cálcio da hidroxiapatita residual<sup>45</sup>.

De Munck et al.<sup>46</sup> (2005) fizeram uma revisão sistemática dos valores obtidos pelas diferentes classes de sistemas de união em testes de microtração conduzidos pela equipe da qual fazem parte, em diferentes trabalhos. Tanto em esmalte como em dentina, os sistemas convencionais de três passos apresentaram os melhores resultados. Já os autocondicionantes de passo único tiveram os piores valores de resistência de união, independentemente do substrato avaliado. Em dentina, os autocondicionantes de dois passos não diferiram dos convencionais de dois passos. Entretanto, os convencionais de dois passos se comportaram melhor em esmalte, não diferindo dos convencionais de três passos. Esse mesmo comportamento também foi confirmado em estudos clínicos.

### **Inter-relação de sistemas adesivos e reação de polimerização**

O profissional deve tomar cuidado no momento de associar o sistema adesivo ao cimento resinoso visto que, em função das diferenças de pH e composição química, muitas combinações podem apresentar impossibilidade de polimerização adequada e conseqüente fracasso do procedimento de cimentação adesiva<sup>47</sup>. A simplificação dos sistemas de união através da colocação do *primer* e do adesivo numa mesma solução acarretou em um aumento na hidrofília desses sistemas, com conseqüente aumento da acidez. Isto levou a alguns problemas relacionados à estabilidade da união e à incompatibilidade destes sistemas com compósitos que possuem ativação química da reação de polimerização<sup>36</sup>.

A incompatibilidade de sistemas de união simplificados (*primer* e adesivo na mesma solução) às resinas compostas ativadas quimicamente foi descrito pela primeira vez por Yamauchi<sup>48</sup> (1986), em um estudo que avaliava a presença de monômeros metacrilatos em sistemas adesivos. Estes achados também foram observados por cirurgiões-dentistas em seus consultórios. Eles relatavam falhas de união quando utilizavam uma resina composta quimicamente ativada para a confecção de núcleos de preenchimentos e sistemas adesivos convencionais de dois passos<sup>49</sup>. Sanares et al.<sup>50</sup> (2001) avaliaram a resistência de união de sistemas

convencionais de dois passos quando utilizados com compósitos quimicamente ou fotoativados. Os valores de união não diferiram entre os quatro sistemas adesivos avaliados quando foi utilizado o compósito fotoativado. Entretanto, quando o compósito quimicamente ativado foi utilizado, houve uma redução significativa dos valores de união, sendo essa redução proporcional à acidez do sistema adesivo. Esses valores reduzidos de união são causados pela interação química entre a amina terciária, acelerador da reação de ativação química de polimerização, presente no compósito e os monômeros resinosos ácidos não-reagidos da camada mais superficial do adesivo, que tem a polimerização inibida pela presença do oxigênio<sup>48, 51</sup>.

Os monômeros metacrilatos à base do ácido fosfórico, também denominados de organofosfatos, são muito mais agressivos do que os carboxílicos, apresentando assim uma maior inibição sobre a reação polimerização do compósito<sup>41</sup>. Além do potencial acidogênico do monômero, a sua concentração também irá interferir na acidez do sistema adesivo e, por conseqüência, na incompatibilidade química. Esses monômeros ácidos inativam as aminas terciárias básicas, ocasionando uma pobre polimerização do cimento resinoso e, conseqüentemente, uma redução na resistência de união entre este e o sistema adesivo, podendo até gerar a decimentação do pino intrarradicular<sup>47</sup>.

Apesar de apresentarem também amina terciária como acelerador, os sistemas de fotoativação da reação de polimerização não são inibidos da mesma forma que os sistemas químicos. A adição de catalisadores químicos (agentes redutores) aos sistemas de união simplificados apareceu como uma opção para diminuir a espessura da camada de inibição do oxigênio desses sistemas, o que poderia levar a uma redução na incompatibilidade. Buscando contornar essa incompatibilidade química, diversos fabricantes têm incorporado aos seus produtos sistemas ternários de oxi-redução, sendo os sais de sódio do ácido sulfínico aromático os mais utilizados<sup>52</sup>. A reação desses sais com os monômeros resinosos ácidos, além de aumentar a conversão destes, produz radicais livres como o fenil ou sulfonil benzeno, que funcionam como iniciadores da reação química de polimerização do compósito, reduzindo ainda mais a incompatibilidade<sup>53</sup>. Alguns sistemas de união convencionais que disponibilizam catalisadores, também denominados de ativadores químicos de reação, são Prime&Bond, tanto o 2.1 como o NT, Excite DSD (Ivoclar-Vivadent) e Optibond Solo Plus (Kerr). Nesses sistemas, o

catalisador é misturado ao adesivo previamente à sua aplicação. Também foi introduzido no mercado um co-iniciador universal, para ser utilizado com uma série de sistemas de união, denominado de BondLink (Den-Mat). Tay et al.<sup>14</sup> (2003) avaliaram a eficácia de catalisadores químicos em reduzir a incompatibilidade química entre sistemas adesivos convencionais de dois passos e compósitos quimicamente ativados. Neste trabalho, o ativador químico do sistema Optibond Solo Plus não foi efetivo em eliminar completamente a interação química. Este ativador químico apresenta em sua composição o sal de sódio do ácido sulfínico benzeno (BSA), etanol e os monômeros resinosos Bis-GMA e HEMA. Suh et al.<sup>41</sup> (2003) demonstraram que a utilização de catalisador aumenta a velocidade e o grau de conversão de compósitos quimicamente ativados contaminados por monômeros ácidos. Entretanto, esse aumento do grau de conversão nunca atinge os níveis alcançados pelo compósito não contaminado.

Mesmo que ocorra a completa eliminação da incompatibilidade química pelo uso de catalisadores, a incompatibilidade entre sistemas adesivos simplificados e compósitos quimicamente ativados ainda permanece quando o substrato utilizado é dentina hidratada<sup>14, 36,54</sup>. Outra observação é que os valores de união para esses sistemas também são reduzidos quando o adesivo fica em contato com o compósito por períodos de até 20 minutos, previamente à fotoativação deste<sup>55</sup>. Neste último caso, em que são utilizados compósitos fotoativados, a incompatibilidade química não existe como foi exposto anteriormente. Tay et al.<sup>56</sup> (2002) demonstraram que os sistemas adesivos autocondicionantes de passo único tornam-se membranas permeáveis após a sua polimerização, permitindo a passagem de fluidos da dentina para a interface adesivo-compósito. Esse mesmo fenômeno também acontece com os sistemas adesivos convencionais de dois passos<sup>14</sup>. Esta permeabilidade, que permite a passagem de água da dentina para a interface de união do adesivo com o compósito, também é responsável pela incompatibilidade observada entre adesivos simplificados e compósitos ativados quimicamente<sup>54, 14</sup>. Os poros podem ter de 10 a 100nm, microporos, de 100nm a 1µm, macroporos, ou podem atingir até 80µm quando a polimerização ocorre em concentrações superiores a 45% de água, formando verdadeiras esponjas de poli-HEMA<sup>57</sup>.

É importante salientar que a presença de HEMA reduz a pressão de vapor da água, dificultando a sua eliminação por volatilização e aumentando a água residual<sup>58</sup>. A formação destes poros através da camada de adesivo polimerizada

leva a um fenômeno denominado de “water trees” (árvores de água), em função do seu aspecto ramificado<sup>54, 59</sup>. A presença de poros através da camada adesiva indica a retenção de água, que pode estar aderida à matriz polimérica ou livre, sendo essa última forma relacionada ao aparecimento de “water trees”<sup>60,61</sup>. Assim, diferentes padrões de porosidades podem ser formados pela movimentação da água através de regiões de relaxamento/rompimento da matriz polimérica no estágio inicial de vitrificação (também denominado erroneamente de geleificação) do adesivo durante a sua polimerização<sup>62</sup>. Esse gradiente criado leva à passagem de água dos túbulos dentinários, região de baixa concentração de solutos, para a superfície da camada de adesivo, interface adesivo-compósito, que possui uma maior concentração de solutos, levando a dois problemas. O primeiro é a formação de glóbulos resinosos ao longo da interface, que são soluções imiscíveis de monômeros hidrófilos e hidrófobos. A polimerização por emulsão dos monômeros hidrófobos em água, juntamente com os monômeros hidrófilos do adesivo diluídos com o compósito hidrófobo resultam na formação desses glóbulos<sup>56</sup>. O segundo é a formação de bolhas na superfície da resina composta em contato com o adesivo, sendo este fenômeno denominado de “*osmotic blistering*”, ou formação de bolhas por osmose<sup>61</sup>. O crescimento no diâmetro ou altura das bolhas está diretamente relacionado ao gradiente de pressão osmótica e ao tempo decorrido até a polimerização do compósito<sup>61</sup>.

A espessura da camada adesiva também tem influência sobre a velocidade de osmose da água para interface. Em camadas adesivas muito finas, como a produzidas por alguns sistemas adesivos autocondicionantes de passo único, a passagem de fluídos para a interface é muito rápida e a formação de bolhas pode acontecer mesmo quando o compósito é fotoativado imediatamente após a sua inserção<sup>62</sup>. Esse fenômeno é mais propenso de ocorrer quando são utilizados cimentos resinosos em função de sua menor viscosidade<sup>63</sup>. Hirashi et al.<sup>64</sup> (2009) observaram o efeito da pressão intra-pulpar simulada na resistência adesiva à microtração de três cimentos resinosos, RelyX ARC, Panavia F 2.0 e RelyX Unicem à dentina e observaram que a água presente continuamente pode resultar na formação de poros no cimento resinoso, via camada adesiva permeável, com a possibilidade de degradação da interface adesiva.

A presença de bolhas de água no compósito próximo à interface cria áreas de propagação de tensões, que reduzem a força necessária para o rompimento da interface adesivo-compósito<sup>36</sup>.

Cheong et al.<sup>65</sup> (2003) avaliaram a resistência de união e ultra morfologia da interface de união, através de MET, de quatro sistemas de união autocondicionantes, sendo dois de passo único, Brush&Bond e Xeno III (Dentsply), e dois de dois passos, Clearfil SE Bond (Kuraray) e Tyrian (Bisco), utilizados com compósitos duais, fotoativados ou não. Para os sistemas de dois passos, ao contrário dos de passo único, não houve diferença entre os valores de união alcançados quando utilizados com o compósito fotoativado ou ativado apenas quimicamente. “*Water trees*” estavam ausentes na camada adesiva desses sistemas, demonstrando que a cobertura do *primer* autocondicionante com uma resina hidrófoba e livre de solvente praticamente eliminou a permeabilidade do adesivo. Para os sistemas de passo único, o Brush&Bond comportou-se melhor que o Xeno III quando foi utilizado com o compósito não fotoativado. Isso demonstrou que o catalisador químico do sistema reduziu a incompatibilidade, mas não a eliminou, uma vez que a permeabilidade do adesivo ainda permaneceu.

A colocação de uma resina adesiva hidrófoba e livre de solventes sobre os sistemas adesivos simplificados pode eliminar tanto a incompatibilidade química, causada pelos monômeros ácidos, como reduzir a permeabilidade da camada adesiva<sup>66,67</sup>. Segundo Navarra et al.<sup>68</sup> (2009), a ausência de um agente adesivo hidrófobo e insolúvel como um passo final no procedimento adesivo é uma das principais razões para a instabilidade de adesivos simplificados. Essa cobertura com adesivo hidrófobo também reduz a nanoinfiltração e aumenta a resistência da camada híbrida<sup>15</sup>. Uma vez que adesivos hidrófobos, sem solvente e com alta viscosidade não conseguem penetrar nos espaços residuais da camada híbrida incompletamente infiltrada pelo *primer*/adesivo hidrófilo para reduzir a nano infiltração, essa redução parece estar mais relacionada ao aumento no grau de conversão do adesivo. A presença de monômeros resinosos ácidos reduz a velocidade e o grau de conversão, o que torna a camada híbrida mais propensa ao rompimento e à degradação<sup>36</sup>. A aplicação adicional do adesivo hidrófobo pode fornecer radicais livres adicionais para aumentar o grau de conversão do adesivo, provavelmente reduzindo a sua permeabilidade<sup>15</sup>. Além disso, a permeabilidade da camada adesiva também é reduzida em função do adesivo hidrófobo que cobre o

adesivo simplificado ser menos permeável<sup>67</sup>. A aplicação adicional de um adesivo hidrófobo aumenta a camada adesiva em até 10µm, podendo esta estratégia ser utilizada também em cimentações<sup>15</sup>.

Pfeifer, Shih e Braga<sup>13</sup> (2003), demonstraram que a incompatibilidade pode também ocorrer com cimentos resinosos duais em situações em que a luz do fotopolimerizador não consiga alcançar o cimento de forma efetiva, desencadeando a porção física, por luz, da reação de polimerização. Isto demonstra que, em situações em que a fotoativação do cimento resinoso é crítica, como na cimentação de coroas com grande espessura e de pinos intrarradiculares, a seleção do procedimento adesivo é crucial para o sucesso da cimentação. Mesmo com a ausência da pressão pulpar positiva em dentes tratados endodonticamente, candidatos a receberem pinos intrarradiculares, Chersoni et al.<sup>69</sup> (2005), demonstraram que a permeabilidade dos adesivos simplificados também pode influenciar as cimentações feitas no interior do canal radicular. Segundo o trabalho de Papa et al.<sup>70</sup>, a umidade dentinária em dentes vitais gira em torno de 12,35%, enquanto em dentes não vitais em 12,10%, não sendo portanto significativa a diferença entre os mesmos. A lavagem do ácido fosfórico, no caso da utilização de adesivos convencionais, resulta na retenção substancial de água dentro dos túbulos dentinários, que não é completamente removida através do uso de cones de papel absorvente. Essa água residual passa através do adesivo e forma bolhas na interface adesivo-cimento quando adesivos convencionais de dois passos são utilizados<sup>69</sup>. No caso de adesivos autocondicionantes de passo único, a água é originária do próprio sistema adesivo<sup>12</sup> ou da dentina, uma vez que o dente não é completamente desidratado<sup>69</sup>. Como a *smear plug* ainda permanece nos sistemas adesivos autocondicionantes, a permeabilidade dos túbulos é reduzida e as bolhas formadas com a utilização destes sistemas adesivos são menores<sup>69</sup>.

Assim, na cimentação de pinos intrarradiculares através de cimentos resinosos associados a sistemas de união, a escolha do adesivo pode ter grande influência sobre a retenção final do pino.

## Cimentação de pinos intrarradiculares

O uso de pinos intrarradiculares tem como principal função a retenção da restauração em dentes com a coroa severamente destruída<sup>71</sup>. Algumas características mecânicas e de fabricação dos pinos intrarradiculares contribuem para uma melhor expectativa de desempenho clínico do complexo dente/pino/restauração: por exemplo, o desenho do pino, que permite mínima remoção de tecido durante o preparo do canal radicular; uma resistência mecânica adequada do pino, para suportar as tensões impostas sobre o dente restaurado em função e a possibilidade de unir-se a estrutura dentária remanescente, conferindo maior resistência ao conjunto pino/dente/restauração<sup>47</sup>. O módulo de elasticidade é uma das propriedades mais relevantes, pois, se for o mais próximo possível ao do dente, possibilita pequena flexão quando submetidos a forças externas, dissipando o estresse na estrutura dental e, assim, reduzindo o risco a fratura<sup>72,73</sup>.

Os pinos resinosos reforçados com fibras de vidro foram introduzidos em 1992. Estes eram compostos de fibras de vidro unidirecionais embebidas em uma matriz resinosa, normalmente a resina epóxica com alto grau de conversão e estrutura com grandes cadeias cruzadas<sup>74</sup>. Entre os sistemas de pinos intrarradiculares disponíveis no mercado, os pinos resinosos preenchidos por fibras (pinos de fibra), tanto de vidro como de carbono, apresentam um comportamento biomecânico superior aos metálicos e cerâmicos<sup>75</sup>.

Para Carvalho et al.<sup>76</sup> (2009), o uso de pinos de fibra para restaurar dentes tratados endodonticamente é uma das mais novas tendências, possibilitada pelos melhoramentos na odontologia adesiva. Hayashi et al.<sup>77</sup> (2008) observaram em seu estudo que a combinação de pinos de fibra de vidro e resina composta mostraram uma resistência a fratura tanto estática quanto carregada superior comparada ao uso de pinos metálicos, desta forma recomendando-os para a restauração de dentes despulpados. Os pinos de fibra de vidro e de carbono apresentam módulo de elasticidade mais próximo ao da dentina e parecem apresentar propriedades mais interessantes para favorecer um melhor comportamento biomecânico do conjunto pino/dente/restauração, como observado em vários estudos *in vitro* e clínicos<sup>47</sup>.

Segundo Boschian Pest et al.<sup>78</sup> (2002), os pinos de fibra, por possuírem um módulo de elasticidade semelhante ao da dentina, poderiam formar com esta, um

corpo contínuo quando cimentados de forma adesiva, o que poderia levar a uma melhor distribuição de tensões. A formação deste corpo contínuo baseia-se no fato dos cimentos resinosos apresentarem maior potencial de união à dentina e aos pinos de fibra em relação aos cimentos de ionômero de vidro e fosfato de zinco<sup>79</sup>.

Os pinos de fibra são compostos por uma matriz de resina epóxica envolvendo as fibras que podem ser quartzo (vidro) ou carbono. Para aumentar a união aos pinos de fibras, tratamentos mecânicos e químicos da superfície foram desenvolvidos para aumentar a rugosidade da superfície e criar vias de difusão para o adesivo ou cimento resinoso. A utilização do silano é um assunto controverso. Wrbas et al.<sup>80</sup> (2007) defendem a idéia de que este poderia aumentar a adesão na interface entre o pino de fibra de vidro e o cimento resinoso, dependendo de partes das fibras de vidro expostas superficialmente. Aminosilanos são utilizados há muito tempo com sucesso pela indústria para alcançar união química à resina epóxica. Já o agente silano mais utilizado na odontologia é o  $\gamma$ -metacriloxipropil-trimetoxisilano ( $\gamma$ -MPS) que não adere bem à resina epóxica<sup>81</sup>. Entretanto, a união do agente silano  $\gamma$ -MPS às fibras de quartzo presentes nos pinos de fibra de vidro, que possuem sílica em sua composição, é efetiva<sup>82</sup>.

O outro substrato em que o cimento resinoso deve unir-se é a dentina do canal radicular. Os cimentos resinosos podem ser polimerizados por meio de uma reação química, por fotoativação ou a combinação dos dois mecanismos<sup>83</sup>. Excetuando-se os cimentos resinosos auto-adesivos, lançados há pouco tempo no mercado, os cimentos resinosos geralmente necessitam da utilização de sistemas adesivos para se unirem ao substrato dental. Entretanto, alguns fatores relacionados ao tratamento endodôntico podem influenciar o desempenho desses sistemas adesivos.

O eugenol presente em alguns cimentos endodônticos (*sealers*) também pode influenciar no grau de conversão do adesivo<sup>84</sup>. Uma opção é a utilização de cimentos endodônticos sem eugenol, ou seja, à base de hidróxido de cálcio. Já o calor gerado durante algumas técnicas de compactação da guta-percha no canal ou durante a sua remoção parece não alterar o substrato dentinário de forma a prejudicar a adesão<sup>85</sup>.

Outros fatores que podem influenciar os procedimentos de união à dentina do canal radicular são as variações do substrato e as dificuldades técnicas em função da profundidade do canal. Segundo Ferrari et al.<sup>71</sup> (2000), na adesão de um sistema

adesivo convencional à dentina do canal radicular, a espessura da camada híbrida e a densidade de *tags* resinosos reduzem em direção apical, o que é refletido também na redução dos valores de união. Entretanto, para sistemas autocondicionantes essa variação não ocorre e, apesar da menor densidade de *tags* e da camada híbrida menos espessa, os valores de união são mais homogêneos em toda a extensão do canal radicular<sup>78</sup>. Essa variação nos valores de união dos sistemas convencionais foi atribuída à redução da densidade e diâmetro dos túbulos dentinário em direção apical e à maior dificuldade em se controlar a umidade do substrato dentinário nas porções mais profundas do canal<sup>72</sup>. Akgungor e Akkayan<sup>86</sup> (2006) demonstraram que esta mesma dificuldade técnica não ocorre para sistemas adesivos autocondicionantes.

Perdigão, Geraldeli e Lee<sup>87</sup> (2004), avaliaram diversos sistemas de cimentação, autocondicionantes e convencionais, para a cimentação de pinos de fibra de vidro, de carbono e pinos cerâmicos. Os autores encontraram que, independente do sistema de cimentação utilizado, os valores de resistência dos pinos ao teste de *push-out* decresceram em sentido apical. Um dos fatores apontados para justificar esses resultados foi a dificuldade de polimerização dos adesivos nas regiões mais profundas do canal. Nas porções mais distantes da fonte de luz ocorre uma redução na quantidade de fótons que chegam ao adesivo, reduzindo o seu grau de conversão e as suas propriedades mecânicas<sup>88</sup>. Pode-se contornar esse problema com a utilização de ativadores químicos de reação<sup>89</sup>. Até mesmo a presença de catalisadores químicos em cimentos duais pode levar a um aumento na conversão do adesivo<sup>90</sup>.

Entretanto, para alguns sistemas de união, a adição de ativadores não exerce qualquer influência nos valores de união, sendo que para outros ocorre até a redução das propriedades mecânicas do adesivo, com conseqüente redução da retenção<sup>86</sup>.

### **Grau de conversão**

Várias são as vantagens da utilização dos cimentos à base de resina em relação aos tradicionais cimentos de fosfato de zinco e ionoméricos. Estas

vantagens têm relação com o fato dos cimentos resinosos serem capazes de se unir tanto a estrutura dental quanto ao material restaurador indireto, quando associados aos sistemas adesivos. Para White e Yu<sup>91</sup> (1993), estas são a sua menor solubilidade e as propriedades mecânicas superiores. Entretanto, a otimização dessas propriedades mecânicas é dependente do grau de conversão final destes cimentos após a polimerização<sup>92</sup>.

A polimerização dos compósitos odontológicos se faz através da abertura das duplas ligações de carbono e subsequente ligação das moléculas dos monômeros para formar uma rede polimérica tridimensional com ligações cruzadas intermoleculares<sup>93</sup>. A quebra das ligações duplas ocorre via radicais livres e gera novas espécies reativas que são responsáveis pela continuação da reação de polimerização. Este processo pode ser dividido em três fases: iniciação, propagação e terminação. O início da reação, fase de iniciação, ocorre através da ativação de um agente que se quebra e forma um radical livre. Este radical é uma molécula com um nível de energia elevado, com um elétron não pareado na sua camada de valência, e pode levar este estado a outra molécula através de colisão<sup>94</sup>. Ao reagirem com o radical livre, os monômeros têm um elétron extraído, tornando-se instáveis. Assim, eles procuram se unir a outros monômeros a fim de se estabilizarem, sendo essa fase chamada de propagação da reação<sup>93</sup>. Outro fator importante neste processo é a rigidez do monômero.

A molécula de Bis-GMA, bisfenol glicidil metacrilato, tem alto peso molecular e por possuir dois anéis benzênicos, na parte central de sua molécula, tem seu movimento restringido durante a polimerização, impedindo o encontro com novos sítios de ligação. Em decorrência deste aspecto é que se justifica a associação de Bis-GMA e TEGDMA. O TEGDMA é uma molécula mais flexível que consegue se dobrar e reagir mais intensamente, principalmente quando a mobilidade do meio reacional está diminuída, sendo também a principal responsável pelas ligações de ciclização e cruzadas<sup>95</sup>.

Pode-se classificar os cimentos resinosos através da forma como ocorre a iniciação da polimerização. Dessa forma, eles podem ser classificados em ativados quimicamente, fotoativados ou de ativação dupla (cimentos duais). Nos sistemas de ativação química, a criação de radicais ocorre quando a amina, ativador, geralmente a dihidroxi etil-p-toluidina reage com o peróxido de benzoíla, iniciador, levando à quebra deste e à geração de radicais livres. Quando as duas pastas são misturadas,

previamente ao procedimento de cimentação, ocorre o início da reação de polimerização. Uma das desvantagens dos sistemas quimicamente ativados é a ausência de controle sobre o tempo de trabalho, que é determinado pelas concentrações de inibidores de reação e pela proporção acelerador/iniciador fornecidos pelo fabricante do material.

Buscando superar essa limitação, foram criados os sistemas de ativação através de energia luminosa. Nesses sistemas fotoativados são empregados iniciadores fotossensíveis, geralmente um  $\alpha$ -1,2 dicetona como benzoil ou canforoquinona, e uma amina terciária alifática como agente redutor, que pode ser dimetilaminoetil metacrilato (DMAEMA) ou dimetil-p-toluidina (DMPTI)<sup>96</sup>.

A maioria dos sistemas de fotoativação utiliza a canforoquinona como fotoiniciador, sendo que essa molécula absorve a energia luminosa em um comprimento de onda de aproximadamente 470 nm (luz azul). Assim, a iniciação da reação ocorre quando a energia luminosa ativa a canforoquinona, levando-a a um estado excitado. Esta se combina com a amina terciária por colisão aleatória e aceita um elétron da amina e forma um radical cetila, ao passo que a saída de um átomo de hidrogênio da amina resulta na formação radical amino<sup>96</sup>. O radical cetila, derivado da canforoquinona, é inativo e, geralmente, une-se a outro radical semelhante ou a uma cadeia em propagação, podendo levar à terminação da reação<sup>95</sup>. Já o radical amino é responsável pela quebra da dupla ligação de carbono do monômero, o que dará início à reação de polimerização.

Como o desencadeamento da reação de polimerização ocorre via ativação da canforoquinona pelos fótons, esta é dependente da densidade de energia e da distribuição espectral da luz que chega ao material<sup>97</sup>. À medida que a luz penetra através do corpo do material, ocorre uma redução na quantidade de fótons que atinge a canforoquinona em virtude da absorção e dispersão, causados principalmente pela carga inorgânica e outros aditivos presentes nos compósitos, o que compromete a profundidade de polimerização<sup>96</sup>. O coeficiente de dispersão de fótons aumenta proporcionalmente ao grau de conversão do compósito<sup>98</sup>. Isso significa que a luz tem maior dificuldade em penetrar através da resina polimerizada. Nos cimentos resinosos de dupla ativação, ou duais, a quantidade de luz que chega ao material também exerce influência sobre o seu grau de conversão final.

Segundo El-Mowafy, Rubo e El-Badrawy<sup>19</sup> (1999), o comportamento de polimerização dos cimentos resinosos duais difere entre marcas comerciais,

provavelmente em função de variabilidade nas composições, viscosidade e concentrações de iniciador/acelerador, sendo que alguns cimentos duais são dependentes da fotoativação para alcançar um maior grau de conversão.

Alguns estudos demonstraram que há uma redução significativa do grau de conversão de grande parte dos cimentos resinosos duais na ausência de fotoativação<sup>99,18,100</sup>.

Este fato tem grande importância, pois à medida que a luz atravessa o cimento resinoso ocorre a sua absorção e dispersão, causadas principalmente pela carga inorgânica que absorve parte de sua energia, o que pode levar a um menor grau de conversão à medida que a região se afasta da fonte geradora de luz<sup>101</sup>, que pode estar relacionado às propriedades mecânicas e à instabilidade dimensional, assim como à liberação de monômeros que não se converteram em polímero.

Caughman, Chan e Rueggeberg<sup>99</sup> (2001) avaliaram o grau de conversão, através de FTIR, de seis cimentos resinosos duais e observaram que apenas os cimentos Choice (Bisco) e Variolink (Ivoclar- Vivadent) não apresentaram valores de conversão adequados quando não foram fotoativados. Para os outros quatro cimentos avaliados, Calibra (Dentsply), Insure (Cosmedent), Lute-it! (Jeneric/Pentron) e Nexus (Kerr), o grau de conversão obtido na ausência de luz foi similar àquele alcançado quando eles foram fotoativados.

Uma situação em que a fotoativação do cimento resinoso é extremamente prejudicada é na cimentação de pinos intrarradiculares. Sigemori et al.<sup>102</sup> (2005), avaliaram a microdureza Knoop, método indireto de avaliar grau de conversão, de dois cimentos resinosos duais, Enforce (Dentsply) e RelyX ARC (3M ESPE), em corpos de prova com 14mm de profundidade, buscando simular a profundidade do preparo de um canal radicular para receber um pino. As avaliações foram feitas em três profundidades, denominadas de superficial (próximo à fonte de luz), média e profunda. Os valores de dureza, para os dois cimentos, decaíram à medida que a mensuração era realizada mais distante da superfície, alcançando valores muito baixos na última profundidade avaliada. Isso demonstra que esses dois cimentos requerem a ativação da porção física (fotoativação) do sistema de polimerização para alcançar valores ótimos de conversão. Resultados semelhantes foram também encontrados para o cimento resinoso dual Variolink II. Quando utilizado na cimentação de pinos intrarradiculares, este cimento resinoso apresentou valores de nanodureza inferiores no terço apical do canal radicular.

O grau de conversão de um material resinoso é afetado por muitos fatores, sendo um dos mesmos a intensidade da luz que é irradiada<sup>103</sup>.

O maior grau de conversão foi alcançado pelo cimento resinoso RelyX ARC, independente do uso de catalisadores. A capacidade de pinos de fibra de vidro em aumentar o valor de conversão de compósitos foi confirmada por Le Bell et al.<sup>104</sup> (2003). Segundo Conceição et al.<sup>47</sup> (2007), é importante que o profissional observe que mesmo entre os pinos de fibra de vidro, por exemplo, há uma diferença na capacidade de transmissão da luz ao longo deste dependendo da marca comercial selecionada. A maioria dos trabalhos que avaliaram o efeito de pinos translúcidos na conversão do cimento resinoso utilizou teste de microdureza ou nanodureza, que são metodologias indiretas para a mensuração do grau de conversão de compósitos odontológicos.

### **Resistência à união**

Três testes têm sido utilizados para se analisar a adesão à dentina do canal radicular: o teste de microtração, o teste de *push-out* e o teste de *push-in*<sup>105</sup>. No teste de *pull-out*, o pino é preso através de sua extremidade superior a um dispositivo acoplado a uma máquina de ensaio e é tracionado para fora do canal<sup>26,106</sup>. Um inconveniente dessa metodologia é que ela não possibilita a mensuração dos valores de retenção em diferentes regiões do canal radicular.

Buscando mapear os valores de união dentro do canal radicular, o ensaio de microtração foi então proposto<sup>83</sup>. A adaptação da técnica do teste de microtração para testar a adesão de pinos radiculares é difícil devido ao pequeno tamanho dos pinos e do formato cilíndrico-cônico da interface adesiva. Independente da metodologia usada na confecção de amostras, ampulheta (*triming*) ou palitos (*no-triming*), para microtração, muitas são perdidas mesmo antes de serem ensaiadas. A preparação dos espécimes para o teste de microtração resulta em altas taxas de falhas prematuras<sup>107</sup>. A perda das amostras durante o corte, no caso de palitos, ou da constrição, no caso de ampulheta, sugerem uma baixa resistência de união.

O ensaio de *push-out*, ou extrusão por cisalhamento, possibilita a mensuração da retenção do pino em diferentes regiões do canal sem que haja a perda prematura

de amostras<sup>78</sup>. Este teste foi descrito pela primeira vez no trabalho de Roydhouse<sup>108</sup> (1970). Goracci et al.<sup>107</sup> (2004) propuseram o teste *push-out* com secções de até 1 mm, também denominado de *micropush-out*. Neste tipo de ensaio, a redução da espessura da amostra leva a uma distribuição mais uniforme das tensões, a exemplo do que ocorre com o teste de microtração<sup>16</sup>.

Goracci et al.<sup>109</sup> (2005) avaliaram a resistência ao teste de *push-out* de pinos de fibra de vidro cimentados com Panavia 21 (Kuraray) e Variolink II. O sistema Panavia 21 utiliza o *primer* autocondicionante ED primer (Kuraray), enquanto que o Variolink II utiliza o sistema adesivo convencional de dois passos Excite DSC (Ivoclar-Vivadent). Entretanto, nesse trabalho, a utilização destes cimentos sem o respectivo sistema de união não alterou os valores de resistência a *push-out*. Houve apenas diferença entre os dois cimentos resinosos. Foi especulado que o embricamento mecânico do conjunto cimento resinoso-pino de fibra às paredes do canal radicular seria o principal mecanismo de retenção. A observação do gráfico de deslocamento x força aplicada durante o ensaio mostra que mesmo após o deslocamento do pino, ou seja, onde se espera que a união já esteja rompida, ocorre um aumento significativo da força aplicada pela célula carga<sup>110</sup>. Em um estágio inicial, quando a carga é aplicada no topo do pino, ocorre retenção friccional entre a porção não-aderida do pino e as paredes do canal, sendo que no lado oposto ainda são desenvolvidas tensões de cisalhamento e ocorre a propagação da falha. Num estágio final do ensaio de *push-out*, apenas a fricção se opõe ao deslocamento do pino<sup>110</sup>.

Além de todas as dificuldades técnicas já citadas na adesão à dentina do canal radicular, o fator de configuração cavitário, fator-C, que é a proporção entre a área aderida e não aderida, é extremamente alto nesta situação. Diante da contração de polimerização inerente as resina compostas, que é ainda mais pronunciada no caso de cimentos resinosos, as áreas não aderidas proporcionam ao material a possibilidade de deformar-se e dissipar as tensões geradas pela contração. Entretanto, no caso de cimentação de pinos intrarradiculares, a área aderida é infinitamente superior a não aderida, podendo haver um fato-C de 200<sup>83</sup>. Tay et al.<sup>111</sup> (2005) demonstraram que num canal com 20 mm de profundidade, o fator-C pode variar de 46 a 23.461 com a diminuição de espessura do cimento de 500 para 1  $\mu\text{m}$ , sendo o seu aumento inversamente proporcional à espessura do cimento. Esse alto fator cavitário, com a impossibilidade de dissipação as tensões

geradas pela contração de polimerização do cimento, inevitavelmente leva a uma ruptura da união e à formação de fendas<sup>112</sup>. Essas, sem dúvidas, indicam uma limitação do procedimento adesivo na retenção de pinos intrarradiculares.

### **Nanoinfiltração**

Enquanto o selamento hermético do esmalte pôde ser alcançado com o uso de sistemas adesivos atuais, o selamento da interface dentina-resina ainda permanece como um desafio, devido ao caráter heterogêneo da estrutura dentinária e de sua morfologia superficial<sup>113</sup>.

O selamento de um material restaurador contra a estrutura dental, sua qualidade e durabilidade são fatores importantes para se avaliar a longevidade das restaurações. Assim sendo, o estudo da resistência a passagem de fluidos e produtos bacterianos na interface entre a restauração e a estrutura dentária, tem sido muito considerado na dentística restauradora. Acredita-se que a habilidade dos adesivos dentinários atuais em alcançar uma adesão confiável em longo prazo, baseia-se na completa infiltração do monômero entre as fibras colágenas, de forma que a camada parcialmente desmineralizada da superfície dentinária seja totalmente alcançada. Falhas na adequada penetração na rede de colágeno na dentina parcialmente desmineralizada pode produzir uma fraca camada porosa de colágeno exposto, não protegido por hidroxiapatita ou encapsulada pela resina, resultando em resistência adesiva decrescente e microinfiltração crescente com o tempo<sup>16</sup>.

Quem primeiro descreveu o fenômeno da nanoinfiltração foram Sano et al., em 1995<sup>17</sup>. Eles introduziram este termo para descrever a difusão de pequenos íons ou moléculas dentro da camada híbrida, mesmo na ausência da formação de *gaps*. Segundo os autores, a infiltração pode ocorrer entre a camada híbrida e a dentina intacta, até mesmo quando nenhum *gap* é observado e nesta situação o termo nanoinfiltração tem sido sugerido para distinguir este tipo de infiltração da típica microinfiltração.

A técnica sugerida por Sano et al.<sup>17</sup> (1995), penetração de íons de prata, na determinação dos padrões de infiltração de camadas híbridas tem sido muito usada, uma vez demonstra confiável. Os métodos de avaliação tradicionais de

microinfiltração não podem identificar o local exato da interface adesiva onde ocorreu a microinfiltração.

Para Douglas e Fields<sup>114</sup> (1989), este é um teste severo, pois o íon prata é muito pequeno (0,059 nm de diâmetro) quando comparado ao tamanho de uma bactéria típica (0,5-1.0 nm), sendo assim, estes espaços são tão pequenos que bactérias não podem não ser capazes de entrar. Esta pequena dimensão e alta capacidade de corar qualquer fibra colágena exposta que não foi envolvida por resina, faz do nitrato de prata o agente mais apropriado para detectar nanoporosidades dentro da camada híbrida<sup>115</sup>. É hipotetizada que a infiltração destes representa potenciais espaços na camada híbrida ou dentro de espaços sub-micrométricos que não foram efetivamente infiltrados com resina adesiva<sup>17</sup>. Estes espaços são tão pequenos que bactérias não podem não ser capazes de entrar. Entretanto estes fazem a adesão mais suscetível à degradação hidrolítica e produtos bacterianos como ácidos e enzimas<sup>116</sup>. Tay et al.<sup>12</sup> (2002), reportaram que a presença de prata representa áreas de permeabilidade aumentada dentro da matriz resinosa.

Desde que o fenômeno da incompleta infiltração de monômeros na rede de fibras colágenas foi descrita e estabelecida pela observação da penetração de nitrato de prata ao longo de margens sem gap para vários sistemas adesivos<sup>16, 17</sup> a chamada nanoinfiltração tem provocado algum receio sobre a real consequência a longo prazo para a adesão.

Embora ainda não haja nenhuma evidência clara dos efeitos negativos da nanoinfiltração na adesão de materiais compostos à dentina, indubitavelmente, a longo prazo, a existência desta em margens cavitárias sem gap pode ter consequências nos procedimentos adesivos a dentina<sup>117</sup>. Este tipo de infiltração pode permitir a penetração de produtos bacterianos e fluido dentinário ou oral ao longo da interface, que pode resultar em degradação hidrolítica tanto da resina adesiva quanto do colágeno exposto, comprometendo assim a estabilidade adesiva<sup>118</sup>.

## 2 PROPOSIÇÃO

O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência ao cisalhamento por extrusão *-push out*, o grau de conversão e a nanoinfiltração, após a associação de catalisadores químicos à sistemas adesivos autocondicionantes e cimentos resinosos de dupla polimerização na cimentação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro de acordo com as variáveis experimentais:

- Sistemas para cimentação de pinos pré-fabricados – grupos experimentais,
- Profundidade no canal radicular – terços apical, médio e cervical.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

Os materiais utilizados nesse estudo estão apresentados no quadro 1 e figura.

MATERIAL	COMPOSIÇÃO	FABRICANTE
1. Reforpost	Fibra de vidro 57% e Resina Bis-GMA + carga (43%)	Angelus Soluções em Odontologia
2. Silano	Radicais silico-funcionais e radicais organo-funcionais	Angelus Soluções em Odontologia
3. Clearfil SE Bond	<u>Primer ácido:</u> 10-MDP, HEMA, dimetacrilato Hidrófilo, canforoquinona, N dietanol p-toluidina, água.  <u>Bond:</u> 10-MDP, HEMA, Bis-GMA, dimetacrilatos hidrófobos, N dietanol p-toluidina, canforoquinona, sílica coloidal.	Kuraray Co., Osaka - Japão
4. ED Primer A e B	<u>A:</u> HEMA, MDP, ácido aminosalicílico, dietanol P-toluidina e água <u>B:</u> sulfinato benzínico de sódio, ácido aminosalicílico, dietanol P-toluidina e água	Kuraray Co., Osaka - Japão
5. Adper SE Plus	<u>Líquido A:</u> Água, HEMA, Surfactante, Corante Rosa <u>Líquido B:</u> UDMA, TEGDMA, TMPTMA (trimetacrilato hidrófobo), HEMA fosfatos, MHP (fosfatos metilmetacrilato), Nanopartículas de zircônia aderidas, Sistema de iniciador baseado em canforoquinona	3M/ESPE
6. Scotchbond Multi-Use Catalisador	BIS-GMA, HEMA, Peróxido de benzoíla	3M/ESPE
7. RelyX ARC	<u>Pasta A:</u> Bis-GMA, TEGDMA, partículas de sílica e zircônia (68% em peso), pigmentos, amins e fotoiniciadores <u>Pasta B:</u> Bis-GMA, TEGDMA, peróxido de benzoíla e partículas de sílica e zircônia (67% em peso)	3M/ESPE
8. Ácido gel	Ácido fosfórico a 35%	3M/ESPE
9. Panavia F	<u>Pasta A:</u> Dimetacrilatos hidrófilos e hidrófobos, 10-metacriloxidecilo di-hidrogênio fosfato (10-MDP), sílica coloidal, CQ e BPO. <u>Pasta B:</u> Dimetacrilatos hidrófilos e hidrófobos, vidro de bário silanizado, óxido de titânio, fluoreto de sódio, sílica coloidal, DHEPT e sulfinato de sódio benzênico Tisopropílico.	Kuraray Co., Osaka - Japão
10. Oxiguard	Polietilenoglicol, glicerina, sulfinato de sódio benzênico, dietanol P-toluidina	Kuraray Co., Osaka - Japão

Quadro 1 - Lista dos materiais empregados no estudo, sua composição e fabricante.



Figura 1- Fotografia dos materiais utilizados neste estudo.

## 3.2 Método

### 3.2.1 Seleção dos dentes

Foram selecionados 30 incisivos bovinos, com raízes retas, forma e tamanhos semelhantes, mantidos em timol 0,1%, até a limpeza. Em seguida, foram armazenados em soro fisiológico a 0,9% por um período máximo de dois meses.

Os dentes foram raspados e alisados com curetas periodontais (Duflex-SS White Artigos dentários Ltda) e limpos com jatos de bicarbonato de sódio e água (Profi II Dabi Atlante Ltda). Após esta limpeza, a coroa foi separada da raiz por meio de discos diamantados dupla-face (KG - Sorensen), refrigerados com spray de ar/água e cortados no comprimento de 18 mm.

Em seguida para se padronizar o desgaste do canal radicular foram selecionadas as raízes em que a broca de Largo número 5, fornecida pelo fabricante do pino, não penetrasse na embocadura do mesmo (Figura 2A).

Depois disto o terço cervical foi desgastado com lixas a base dióxido de silício números 400 e 600 em politriz elétrica giratória (South Bay technology) até o comprimento final de 17 mm.

A seguir, as raízes selecionadas foram identificadas com algarismos arábicos através de um marcador para retro projetor e foram novamente armazenadas em soro fisiológico a 0,9%.

### 3.2.2 Preparo dos canais radiculares

#### 3.2.2.1 Preparo endodôntico

Todos os grupos receberam preparo endodôntico feitos com brocas de Gates-Glidden (Dentsply/Maillefer) 4 e 5. Para irrigação dos canais radiculares foi utilizada água destilada e secagem com cones de papel nº80.

#### 3.2.2.2 Obturação dos canais radiculares com cimento resinoso sem eugenol

Em todos os grupos, cones de guta-percha TP termoplastificáveis ML (Dentsply/Maillefer) foram utilizados na obturação dos canais radiculares. Um cone principal de guta percha que travasse na região apical do canal foi selecionado. Feito isso, o cimento obturador à base de hidróxido de cálcio – Sealer 26 (Dentsply-Brasil) foi espatulado, segundo recomendações do fabricante, inserido no interior do canal radicular com o auxílio de lentulo e aplicado sobre toda a superfície do cone. O cone foi inserido no canal e um compactador vertical (Golgran Ind. e Com. de Instrumentos Odontológicos- Brasil) com tamanho compatível ao canal foi aquecido ao rubro em lamparina a álcool, e em seguida posicionado sobre o cone para cortá-lo rapidamente. Após o corte, o remanescente do cone foi pressionado com um condensador de menor diâmetro. Realizada a obturação do canal, as raízes foram limpas com algodão embebido em álcool e novamente armazenadas em solução fisiológica a 0,9%.

### 3.2.2.3 Preparo intrarradicular

Para o preparo intrarradicular, a guta percha foi removida com a broca Gates-Glidden nº5, no comprimento de 12 mm, controlado por cursor. Em seguida, a broca Largo nº5 foi utilizada para o preparo do canal, inserida em movimento único para não alterar a padronização do sistema, também no comprimento de 12 mm (Figura 2B). Encerrado o preparo intrarradicular, foi realizada a remoção de debris dentinários do canal, conforme mostra a radiografia (Figura 2C) com irrigação/aspiração com soro fisiológico e secagem com cones de papel absorvente. O pino foi posicionado no interior do mesmo, para se verificar se o mesmo penetrava 12 mm no canal (Figuras 2D e 2E). A seguir, foi realizada a cimentação do pino de acordo com os diferentes grupos experimentais.

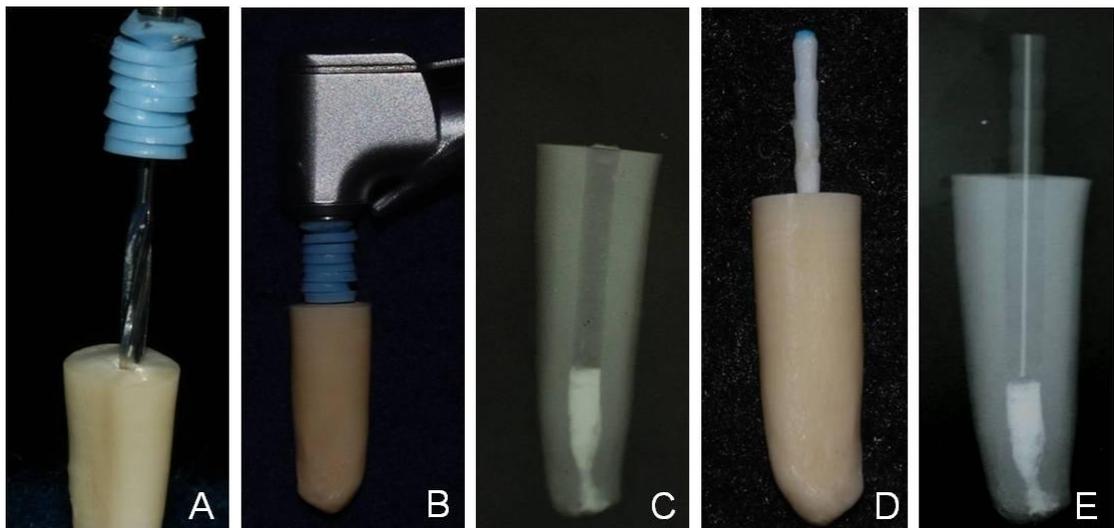


Figura 2 - Preparo do conduto para cimentação do pino de fibra de vidro. A- Início do preparo do conduto com broca de Largo nº5. B- Finalização do preparo do conduto com 12mm de profundidade. C- Radiografia para avaliação do conduto. D- Pino posicionado. E- Radiografia do pino posicionado no conduto.

### 3.2.3 Grupos Experimentais

As raízes foram distribuídas aleatoriamente nos grupos experimentais, através de sorteio, formando 03 grupos com 10 amostras de cada, assim distribuídos:

- **Grupo 1 – (AOR)**

Pino de Fibra de vidro Reforpost foi fixado com o sistema adesivo **Adper SE Plus** (3M/ESPE) e o cimento resinoso **RelyX ARC** (3M/ESPE)

- **Grupo 2 – (ACR)**

Pino de Fibra de vidro Reforpost foi fixado com o sistema adesivo **Adper SE Plus (3M/ESPE) + Catalisador do Scotchbond Multi Uso Plus** (3M/ESPE) e o cimento resinoso **RelyX ARC** (3M/ESPE)

- **Grupo 3 – (CEP)**

Pino de Fibra de vidro Reforpost foi fixado com o sistema adesivo **Clearfil SE Bond + Catalisador ED Primer** (Kuraray) e o cimento resinoso **Panavia F** (Kuraray)

### 3.2.4 Cimentação do pino

#### 3.2.4.1 Grupo 1 (AOR)

Os pinos de fibra de vidro foram previamente condicionados com ácido fosfórico a 35% (3M Dental Products) por 15 segundos, lavados com água pelo mesmo tempo, e secos cuidadosamente com jatos de ar. Em seguida, foram silanizados por 1 minuto com Silano/ Ângelus Soluções em Odontologia conforme as recomendações do fabricante do pino. Uma gota do primer (frasco A) do Adper SE Plus foi dispensada no casulo que acompanha o produto (Figura 3) e foi aplicado no interior

do canal radicular com o auxílio de um pincel (Microbrush Co.-U.S.A.). Sem se secar o primer, uma camada de adesivo (frasco B) foi aplicada ativamente por 20 segundos sobre o primer com pincel. O canal foi seco por 10 segundos com jato de ar e uma segunda aplicação do adesivo foi feita. Um novo jato de ar foi aplicado por 10 segundos. Em seguida, pontas de papel absorventes nº 80 foram utilizadas para a remoção de possíveis excessos de adesivo no interior do canal e o mesmo foi fotoativado por 40 segundos utilizando-se o aparelho Fotoativador Optilight Plus - Gnatus- 500mw/cm<sup>2</sup> (Figura 4).

O cimento resinoso RelyX ARC foi dispensado, na proporção 1:1, sobre um bloco de papel impermeável e espatulado de acordo com as recomendações do fabricante. Ao final da espatulação, o agente resinoso foi inserido no canal utilizando-se uma seringa de insulina com agulha descartável e o pino posicionado imediatamente no canal radicular e os excessos removidos com pincel. O cimento foi fotoativado por 40 segundos na face vestibular e por 40 segundos na face lingual da raiz, utilizando-se o aparelho fotoativador Optilight Plus - 500mw/cm<sup>2</sup>. As raízes foram mantidas em umidificador ao abrigo da luz (Figura 5).



Figura 3 - Uma gota do primer (A) e do adesivo (B) sistema adesivo Adper SE Plus, utilizado no grupo 1, dispensadas no recipiente fornecido pelo fabricante.

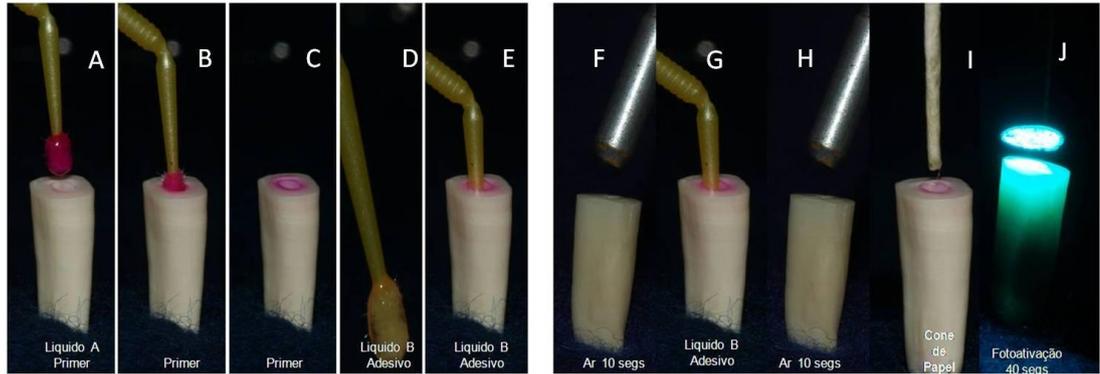


Figura 4 - Sequência adesiva utilizada no Grupo 1. A- Pincel contendo primer. B- Primer sendo aplicado na embocadura do canal. C-Primer aplicado em todo o conduto. D- Pincel contendo o adesivo. E- Aplicação do adesivo. F- Jato de ar por 10 segs. G- Segunda aplicação do adesivo. H- Novo jato de ar por 10 segs. I- Remoção do excesso de material com cone de papel absorvente. J- Fotoativação por 40 segundos na vestibular e na lingual.

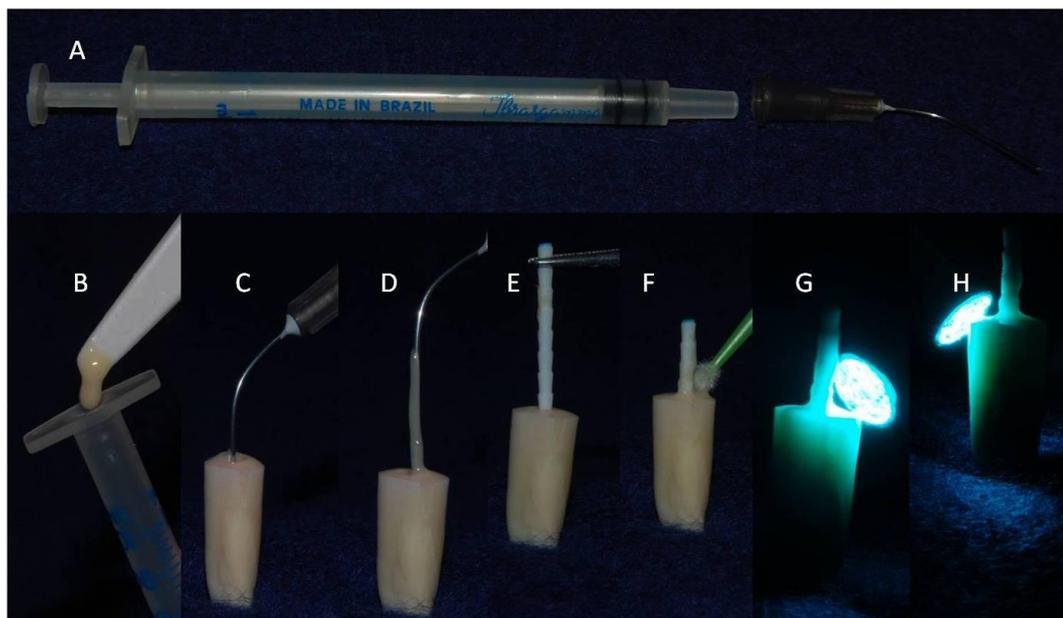


Figura 5- Sequência de cimentação do Grupo 1. A- Seringa de insulina e agulha descartável. B- Inserção do cimento na seringa de insulina. C- Aplicação inicial do cimento no conduto. D- Conduto preenchido com cimento. E- Inserção do pino de fibra de vidro. F- Remoção do excesso com pincel. G- Fotoativação por vestibular. H- Fotoativação por lingual.

### 3.2.4.2 Grupo 2 (ACR)

O tratamento superficial dos pinos de fibra de vidro, assim como a aplicação do sistema Adper SE Plus (3M ESPE) foram os mesmos do grupo 1. Em seguida aplicou-se sobre o mesmo uma camada do agente catalisador do sistema Scotchbond Multi Uso Plus (3m ESPE) (Figura 6). Pontas de papel absorventes nº 80 foram utilizadas para a remoção de possíveis excessos do catalisador no interior do canal (Figura 7) e o pino de fibra de vidro foi cimentado da mesma forma como descrito para o Grupo 1, com o cimento RelyX ARC. As raízes foram mantidas em umidificador ao abrigo da luz .

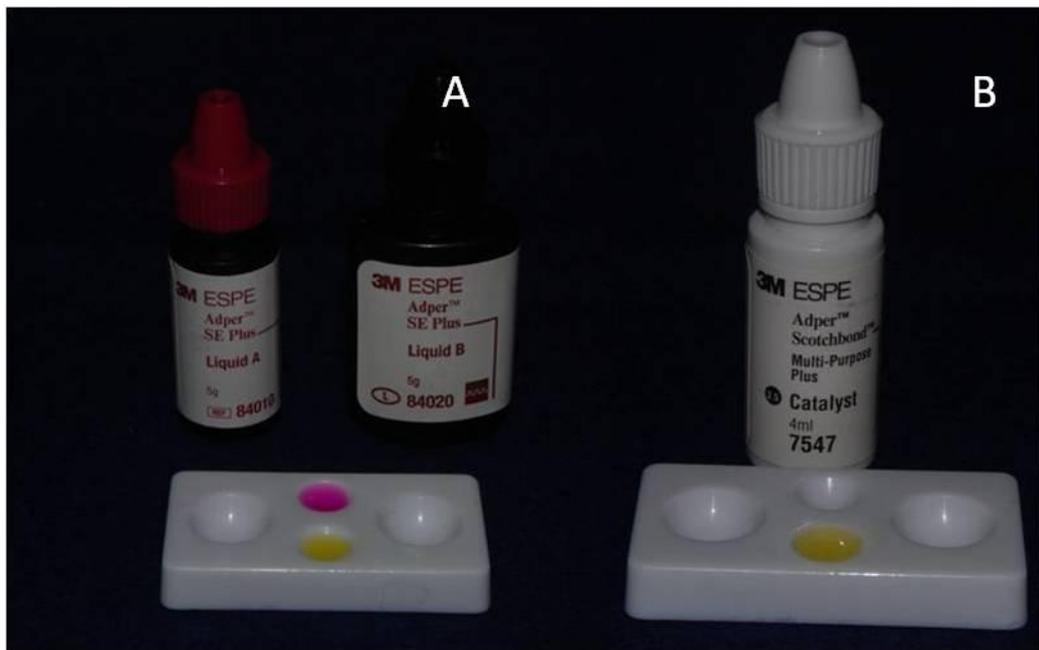


Figura 6- Sistema adesivo utilizado no grupo 2. A- Adper SE Plus. B- Catalisador Scotchbond.

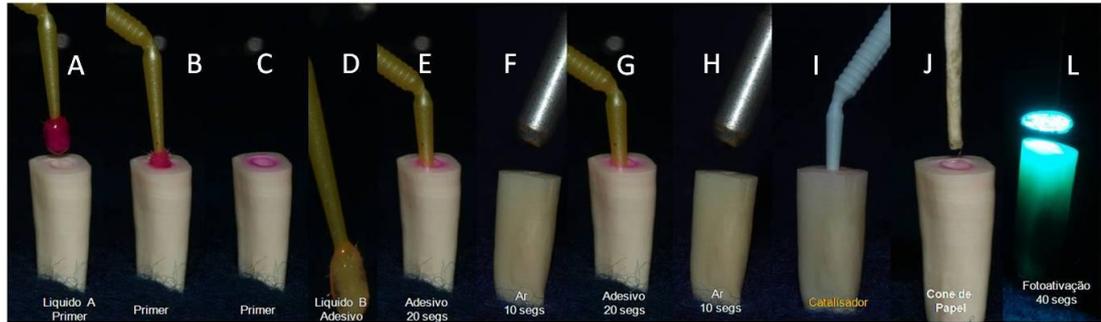


Figura 7- Sequência adesiva utilizada no grupo 2. A-B-C- Aplicação do primer. D-Pincel contendo adesivo. E- Aplicação do adesivo. F- Jato de ar por 10 segs. G- 2ª. aplicação do adesivo. H- Novo jato de ar por 10 segs. I aplicação do catalisador. J- Remoção do excesso de material com cone de papel absorvente. L- Fotoativação por vestibular e por lingual.

### 3.2.4.3 Grupo 3 (CEP)

O tratamento superficial dos pinos de fibra de vidro foi idêntico ao Grupo 1. No interior do canal radicular, foi aplicado ativamente o Primer do agente de união Clearfil SE Bond por 20 segundos, utilizando-se um pincel de diâmetro compatível com o diâmetro do canal e, em seguida, foi aplicado um leve jato de ar. Com auxílio de outro pincel foi aplicado o Bond do sistema. Em seguida, pontas de papel absorvente nº80, foram utilizadas para a remoção de possíveis excessos de adesivo no interior do mesmo. Foi aplicado um leve jato de ar por 3 segundos e o adesivo foi fotoativado por 10 segundos pelo aparelho Optilight Plus de acordo com as recomendações do fabricante.

Uma gota de cada frasco do sistema ED Primer (A e B) foi dispensada em recipiente plástico fornecido pelo fabricante, e após a mistura foi aplicado por 60 segundos no interior do canal, com auxílio de pincel e secado com leve jato de ar por 2 segundos. Em seguida, pontas de papel absorventes nº80 foram utilizadas para a remoção de possíveis excessos de adesivo no interior do canal (Figura 8).

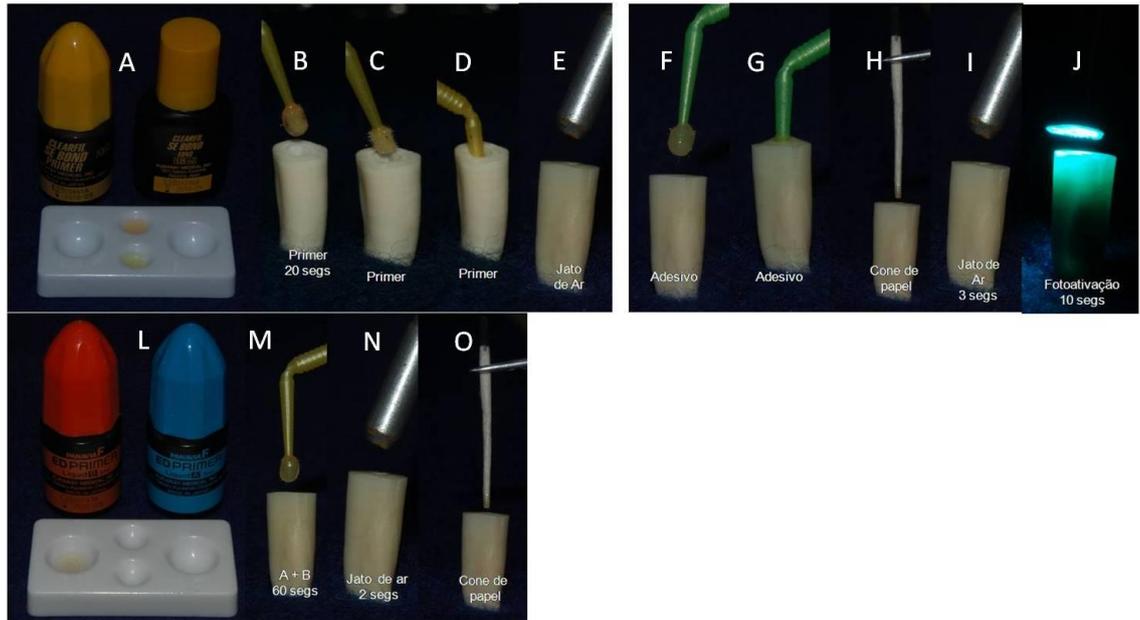


Figura 8- Sequência adesiva utilizada no grupo 3. A- Clearfil SE Bond. B-C-D- Aplicação do primer. E- Jato de ar. F-G- Aplicação do adesivo. H- Remoção do excesso com cone de papel absorvente. I- Jato de ar por 3 segs. J- Fotoativação por 10 segs. L- ED Primer. M- Aplicação do catalisador. N- Jato de ar por 2 segs. O- Remoção do excesso com cone de papel absorvente.

Após a aplicação do sistema adesivo, a pasta catalisadora **A** e a pasta base **B** do cimento resinoso Panavia F foram dispensadas, na proporção 1:1, sobre um bloco de papel impermeável e misturadas por 10 segundos. O cimento foi inserido no canal utilizando-se uma seringa de insulina com agulha descartável e o pino, imediatamente posicionado e estabilizado manualmente no interior do canal radicular. Os excessos do cimento foram removidos com pincel e o agente de cimentação foi fotoativado por 40 segundos na face vestibular e por 40 segundos na lingual da raiz. Em seguida, foi aplicado o Oxiguard II por 60 segundos. As raízes foram mantidas em umidificador ao abrigo da luz. (Figura 9).

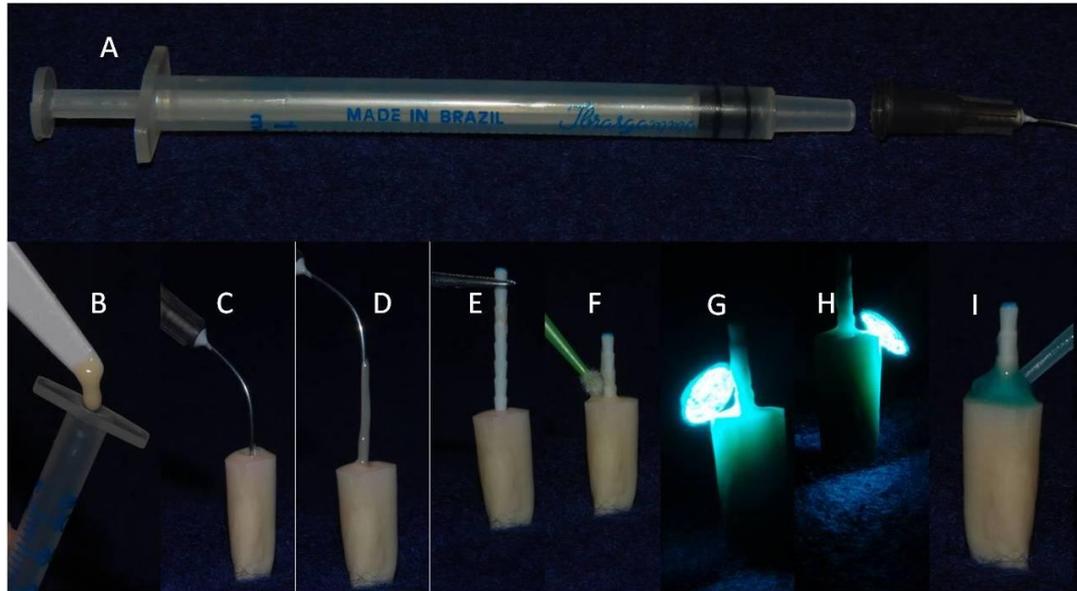


Figura 9- Sequência na cimentação do pino de fibra de vidro com o cimento Panavia F. A- Seringa de insulina e agulha descartável. B- Inserção do cimento na seringa de insulina. C- Aplicação inicial do cimento no conduto. D- Conduto preenchido com cimento. E- Inserção do pino de fibra de vidro. F- Remoção do excesso com pincel. G- Fotoativação por vestibular. H- Fotoativação por lingual. I- Aplicação do Oxiguard II.

### 3.2.5 Seccionamento das Raízes em Terços

Após uma semana da fixação dos pinos de fibra de vidro as raízes foram fixadas com cera pegajosa em placas de acrílico (Figura 10 C) e posteriormente seccionadas perpendicularmente ao seu longo eixo através do disco EXTEC DIA WAFER BLADE 4" x .012 x ½ (102 mm X 0,3 mm X 127 mm) que foi acoplado à recortadora metalográfica (Isomet 1000), a fim de se obter fatias com espessura aproximada de 1,0mm (Figura 10) dos terços: cervical, médio e apical de cada raiz. O primeiro corte foi realizado a 1mm da superfície cervical da raiz, o segundo a 1,3 mm do primeiro, o terceiro a 4,7mm da superfície cervical, o quarto a 1,3 do terceiro corte, o quinto corte a 8,7mm da superfície cervical e o sexto a 1,3 mm do quinto corte, obtendo-se assim fatias dos terços cervical, médio e apical (Figura 11A). Logo após a realização de cada corte, as fatias foram identificadas com caneta para retroprojeto, na superfície voltada para apical (Figura 11B) onde, posteriormente, foi aplicado, sobre o pino, o carregamento axial de compressão. As amostras obtidas

foram armazenadas em água destilada a 37° em recipientes que não permitiam a passagem de luz por 24 horas.

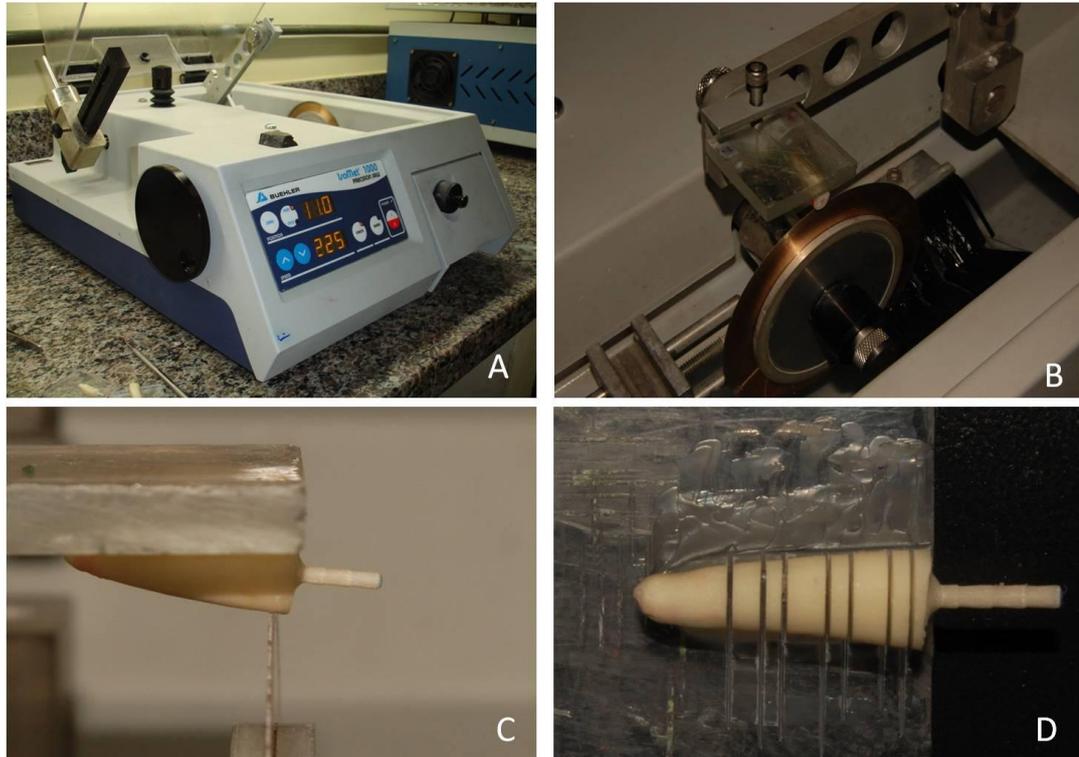


Figura 10- A- Recortadora Isomet 1000. B- Raiz fixada na placa de vidro e posicionada sobre o disco diamantado fixado à recortadeira. C- Execução do primeiro corte. D- Cortes executados nos terços cervical, médio e apical da raiz.

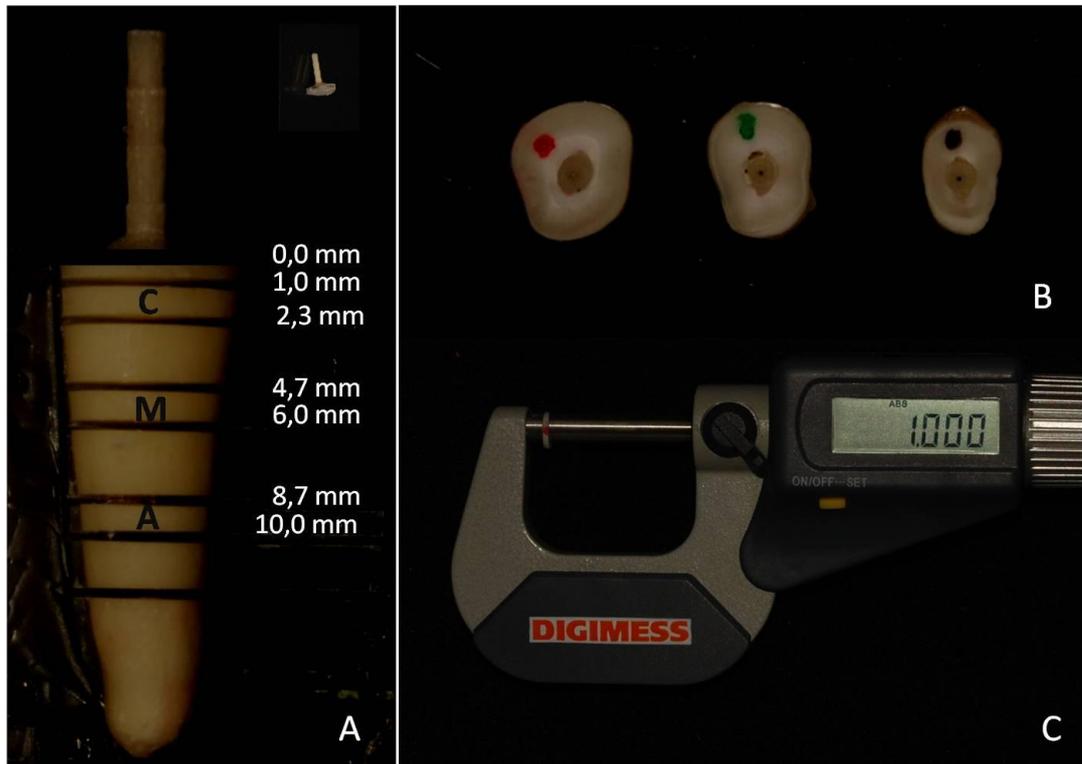


Figura 11- A- Localização dos cortes. B- Fatias dos terços cervical, médio e apical. C- Espessura de cada fatia - 1mm.

### 3.2.6 Ensaio Mecânico de Resistência ao Cisalhamento por Extrusão – Push Out

O ensaio de resistência ao cisalhamento por extrusão foi realizado em três diferentes níveis: cervical, médio e apical. Os espécimes foram posicionados em uma base metálica em aço inoxidável contendo um orifício de 2,0 mm de diâmetro na região central (Figura 12A). As secções radiculares contendo o pino de fibra de vidro foram posicionadas exatamente na mesma direção do orifício da base metálica (Figura 12B). Todo o conjunto foi posicionado na base da máquina de ensaio universal EMIC D500 dotada de carga de 100KN. Uma haste metálica com ponta ativa de 1,0mm de diâmetro foi fixada no mordente da máquina e posicionada no centro do pino de fibra de vidro (Figura 12 C). O ensaio de resistência ao “push out” foi conduzido na velocidade de 1,0 mm/min, até o deslocamento (Figura 12D). A força necessária foi obtida em kgf (quilograma/força) e convertida em MPa (Mega Pascal), dividindo-se a força pela área do canal radicular (Apêndice A). Os dados obtidos foram tabulados e analisados estatisticamente.

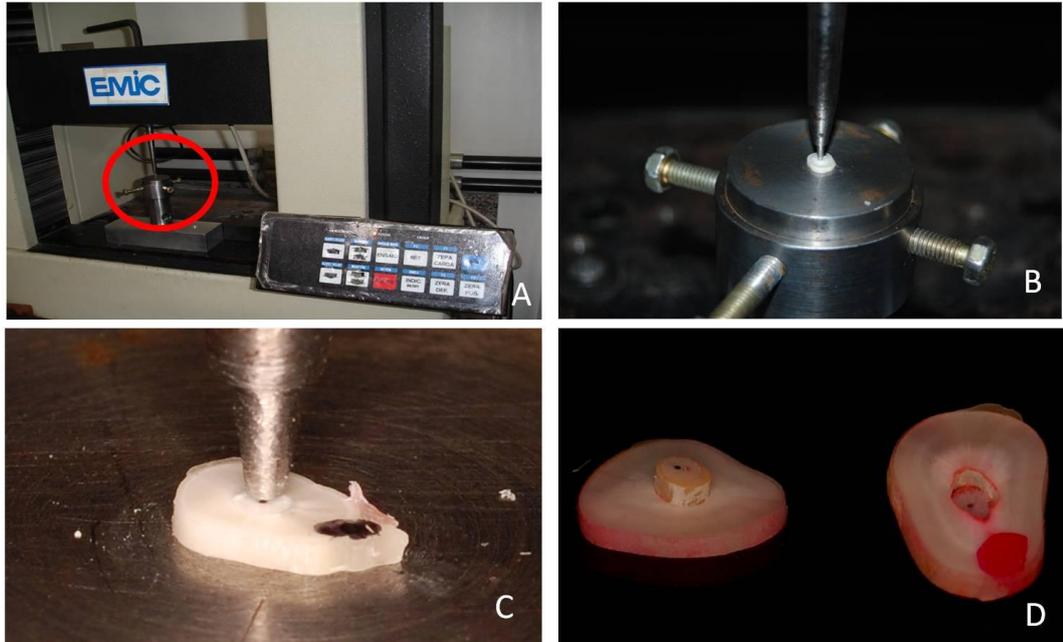


Figura 12- A- Máquina de ensaio. B- Corpo-de-prova posicionado na base da máquina de ensaio. C- Visão aproximada da ponta ativa. D- Deslocamento do pino de fibra de vidro.

### 3.2.6.1 Delineamento estatístico para o ensaio de resistência ao cisalhamento por extrusão.

A análise estatística foi realizada em delineamento inteiramente ao acaso com parcela subdividida em que os fatores analisados foram: Grupo em três níveis: G1 (Adper SE Plus + RelyX ) G2 (Adper SE Plus + Catalisador + RelyX ), G3 (Clearfil SE Bond + ED Primer + Panavia F) e Parcela também em três níveis: A (terço apical), M (terço médio), C (terço cervical). Os dados foram tabulados e submetidos à análise estatística.

### 3.2.7 Análise do Grau de Conversão

Para esta análise, foi utilizada matriz em silicone de adição apresentando as seguintes dimensões 1 x 1 x 7mm. A utilização deste aparato teve como objetivo

criar espaço para a inserção do cimento resinoso conjugado ou não aos catalisadores químicos (Figura 13).

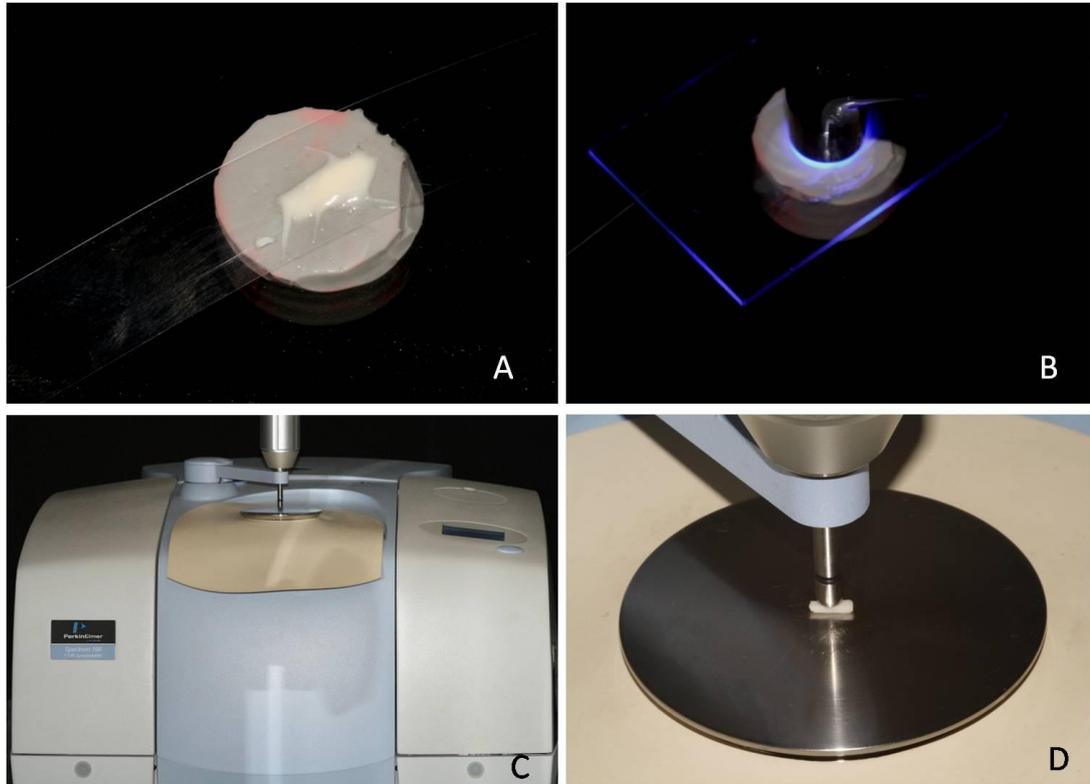


Figura 13 - A - Matriz com dimensões 1 x 1 x 7mm preenchida com cimento resinoso. B- Fotoativação do cimento. C- Visão da parte superior do espectrômetro Spectrum 100 Optica; PerkinElmer, MA, USA. D- Visão aproximada da região onde se encontra o cristal de Seleneto de zinco para a leitura das amostras.

Foram feitas três mensurações para cada cimento e suas associações aos catalisadores (Apêndice B). As mensurações do grau de conversão dos cimentos foram realizadas após 24 horas, em espectrômetro de raios infravermelhos transformado de Fourier - FTIR (Spectrum 100 Optica; PerkinElmer, MA, USA), com um elemento de refletância total atenuada acoplado - ATR, o qual possui um cristal horizontal de Seleneto de Zinco (Pike Technologies, Madison, WI, USA) no centro que funciona com substrato ativo para os raios infra-vermelhos.

GRUPO	DESCRIÇÃO	NÚMERO DE ANÁLISES
RX	RelyX sem catalisador	3
P	Panavia F sem catalisador	3
RXSBS	RelyX com catalisador Scotchbond superficialmente	3
PSBS	Panavia com catalisador Scotchbond superficialmente	3
RXEDS	RelyX com catalisador Ed Primer superficialmente	3
PEDS	Panavia com catalisador Ed Primer superficialmente	3
RXSBI	RelyX com catalisador Scotchbond incorporado	3
PSBI	Panavia F com catalisador Scotchbond incorporado	3
RXEDI	RelyX com catalisador Ed Primer incorporado	3
PEDI	Panavia com catalisador Ed Primer incorporado	3

Quadro 2- Cimentos resinosos e associações aos catalisadores, bem como o modo de associação, superficial ou incorporado.

Os catalisadores foram aplicados de duas formas: superficialmente e incorporado ao material. Após a inserção do(s) material (is), foram utilizadas uma matriz transparente de poliéster e uma lamínula de vidro para evitar a inibição da reação de polimerização pelo oxigênio. Sobre esta lamínula o material foi fotoativado. Para isso utilizou-se o aparelho Fotoativador Optilight Plus – Gnatus - 500mw/cm<sup>2</sup>. Foram feitas duas exposições de 40 segundos em cada extremidade do material incluído na matriz.

Foram obtidos espectros infravermelhos com auxílio do programa Spectrum (PerkinElmer) presente em microcomputador ligado ao espectrômetro. O programa foi utilizado no modo de monitoramento da varredura, usando a apodização Happ-Genzel, com resolução de 4 cm<sup>-1</sup> e os espectros coletados no intervalo de 1665 a 1580 cm<sup>-1</sup>.

O cálculo do grau de conversão foi feito baseado na proporção entre as duplas ligações de carbono alifáticas e aromáticas, usadas como padrão interno, nos estados polimerizados e não polimerizados. Durante a reação de polimerização, a absorbância das duplas ligações de carbono aromáticas permanece constante, enquanto que há redução da quantidade de duplas ligações alifáticas (- C = C -). A

dupla ligação de carbono alifática absorve a energia no comprimento de onda de  $1638\text{ cm}^{-1}$ , enquanto que a aromática no comprimento de  $1608\text{ cm}^{-1}$ .

Para o cálculo, foi utilizada a técnica de *baseline* (Rueegeberg et al., 1990), traçado pelo próprio programa Spectrum (Apêndice C). A partir desta, foram mensurados alguns parâmetros pelo próprio programa. A intensidade corrigida dos picos observados nos comprimentos de onda  $1638$  e  $1608\text{ cm}^{-1}$  foi utilizada na seguinte fórmula:

$R = \text{intensidade em } 1638\text{cm}^{-1} / \text{intensidade em } 1608\text{cm}^{-1}$ , sendo o grau de conversão (%) calculado da seguinte forma:

$$\text{GC (\%)}: \left[ 100 - \left( \frac{\frac{1638\text{cm}^{-1}}{1608\text{cm}^{-1}} \text{ Polimerizado}}{\frac{1638\text{cm}^{-1}}{1608\text{cm}^{-1}} \text{ Não polimerizado}} \right) \right] \times 100$$

Os dados de grau de conversão foram analisados no programa SigmaPlot 9.0 (Systat Software Inc., San Jose, CA, EUA), onde foram traçados os gráficos de grau de conversão.

### 3.2.7.1 Delineamento estatístico para a análise do grau de conversão

Delineamento inteiramente casual em esquema fatorial (2x5), em que os fatores foram: cimento resinoso em dois níveis: RelyX ARC e Panavia F, e catalisadores em 5 níveis: Sem catalisador, catalisador scotchbond aplicação superficial, ED Primer aplicação superficial, Scotchbond incorporado ao cimento e ED Primer incorporado ao cimento.

### 3.2.8 Análise da Nanoinfiltração

Para a realização do teste da nanoinfiltração foram utilizadas 2 fatias de cada região da raiz, para cada sistema de cimentação. Assim a amostra foi composta por um total de 18 corpos-de-prova. Para a infiltração da solução traçadora de prata, 10 gramas de cristais de nitrato de prata foram dissolvidos em 10 ml de água deionizada, obtendo-se a solução de nitrato de prata. Em seguida foram dispensadas gotas de hidróxido de amônio a 28% (Sigma-Aldrich) até o escurecimento da solução seguido de mudança de cor para transparente novamente obtendo-se assim uma solução de nitrato de prata amoniacal 50% ( $\text{AgNO}_3 \text{NH}_4$ ). As amostras foram submersas nesta solução, permanecendo por 24h a 37°C. Após este tempo foram lavadas em água destilada por 2 minutos para serem submersas em uma solução reveladora (Kodak – Revelador D-76 – Kodak Brasileira, Ind. E com. Ltda, São José dos Campos, SP, Brasil) por 8 horas, e expostas à iluminação fluorescente direta através de uma luminária e indireta através da iluminação do ambiente (Figuras 14A e 14B).

Em seguida as amostras foram processadas para a visualização em Microscópio Eletrônico de Varredura dos espaços nanométricos no interior da camada híbrida e na interface desta com o cimento resinoso e da interface deste com o pino de fibra de vidro. Para tanto, se realizou a inclusão das amostras em resina de poliestireno (Figuras 14C e 14D) . Após a inclusão dos corpos-de-prova, os mesmos foram desgastados seqüencialmente, com lixas SiC 600, 1200 e 2000 em politriz metalográfica (Erios PL02 E). Depois de desgastados, os mesmos foram devidamente polidos com discos de feltro e pasta diamantada em granulação decrescente (3,1 e 0,25  $\mu\text{m}$ ). Entre cada granulação de lixa e de pasta, as amostras foram imersas em água destilada e colocadas em ultra-som (Ultrasound Ultrason 1440 D – Odontobrás Ind. E Com. Med. Odont. Ltda, Rio Preto, SP, Brasil) por 10 minutos para remoção de detritos.



Figura 14- A- Corpos-de-prova submersos em nitrato de prata amoniacal 50%. B- Iluminação fluorescente direta por meio de uma luminária; C- Preparo para a inclusão. D- Amostra incluída em resina de poliestireno.

Em seguida as amostras foram secas com papel absorvente e iniciou-se os procedimentos de desmineralização para remoção da matriz inorgânica dentinária e desproteinização para posterior observação em MEV do grau de infiltração do nitrato de prata nas regiões previamente descritas.

Para a desmineralização, aplicou-se solução de ácido fosfórico a 85% por 30 segundos, seguida de lavagem em água destilada. Para a desproteinização, utilizou-se solução de hipoclorito de sódio a 10% por 10 minutos. Após esse tempo lavou-se as amostras e deixou-se secar a temperatura ambiente. Posteriormente as amostras foram desidratadas em álcool etílico absoluto em concentrações crescentes (25%, 50%, 75%, 90% e 100%) por 10 minutos em cada concentração.

Finalizado o processamento das amostras, elas foram cobertas com carbono (Figuras 15A e 15B) (Bal-Tec- SCD 050- SputterCoater;) para serem observadas em MEV (JEOL JSM – 5600L V), operando em alto vácuo numa potência de 17 KV, no qual foram obtidos imagens em elétrons retro-espalhados (Apêndice D). Para calcular o nível de nanoinfiltração, as imagens foram analisadas utilizando-se o

programa Image tool 3.0. Após carregar a imagem, selecionou-se a opção *settings – calibrate Spatial Measurements* para, com o auxílio da barra de medida originada no microscópio, se pudesse fazer a calibração da ferramenta de medida em distância do programa. A seguir, obteve-se e registrou-se a medida do perímetro de cada conduto ( $p$ ). Em seguida, mediu-se e registrou-se apenas a parte do perímetro marcada pelo traçador ( $t$ ). A partir de uma regra de três onde  $t/p = x/100$ , obteve-se o grau de nanoinfiltração de cada uma das amostras (Apêndice E).

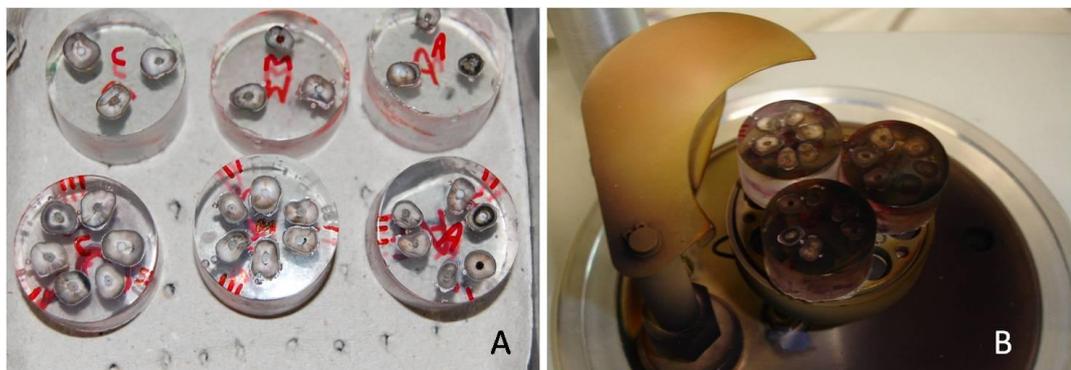


Figura 15- A- Amostra antes da cobertura com carbono. B- Amostra após a cobertura com carbono.

### 3.2.8.1 Delineamento estatístico para a análise da nanoinfiltração

A análise estatística foi realizada em delineamento inteiramente casualizado com parcela subdividida em que os fatores analisados foram: Grupo em três níveis: G1 (Adper SE Plus + RelyX ) G2 (Adper SE Plus + Catalisador + RelyX ), G3 (Clearfil SE Bond + ED Primer + Panavia F) e Parcela também em três níveis: A (terço apical), M (terço médio), C (terço cervical). Os dados foram tabulados e submetidos à análise estatística.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Análise Estatística do Ensaio de Resistência ao Cisalhamento por Extrusão- *Push-Out*

Para a tomada de decisões foi eleito o nível de 5% de probabilidade ( $\rho \geq 0,005$ )

Antes de se aplicar o teste de análise de variância foram testadas as pressuposições do modelo, teste de Levene, que apontou problemas de heterogeneidade da variância e escala na variável original. O programa sugeriu a transformação dos dados em logaritmo na base 10 que corrigiu os problemas e o teste de análise de variância foi aplicado. Seu resultado é apresentado nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Resultado da análise de variância para o ensaio de resistência ao cisalhamento por extrusão (*push-out*) de sistemas para fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, com médias transformadas ( $\log_{10}$ ).

Fonte da Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamento	8	11,94336242	1,49292030	24	0,0001
Resíduo	72	4,478660131	0,06220280		
Total	80	16,42196373			

Tabela 2 - Resultado da decomposição da análise de variância para o ensaio de resistência ao cisalhamento por extrusão (*push-out*) de sistemas para fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, com médias transformadas ( $\log_{10}$ ).

Fonte da Variação	GL	Type III SS	QM	F	Pr > F
Grupo (G)	2	9,35406070	4,67703035	75,19	0,0001
Parcela (P)	2	1,11785737	0,55892869	8,99	0,0003
G x P	4	0,34160949	0,08540237	1,37	0,2518

O resultado da análise de variância o valor de F igual a 24 significativo em nível de 5% de probabilidade (0,0001), e a decomposição da análise de variância mostrou que os fatores Grupo (0,0001) e Parcela (0,0003) foram significativos,

porém a interação entre estes fatores não foi significativa mostrando que os sistemas de fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro e a profundidade no canal radicular são independentes. Assim para melhor elucidar estes resultados foi aplicado, separadamente, o teste de Tukey, para os fatores Grupo e Parcela. Os resultados encontram-se nas tabelas 3 e 4 respectivamente.

Tabela 3 - Resultado do teste de Tukey para o Fator Grupo no ensaio de resistência ao cisalhamento por extrusão (*push-out*) de sistemas para fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, dados originais.

Grupo	N	Média (DP) em MPa	Tukey
G2	26	33,2 (16,6)	a
G1	26	23,1 (11,1)	a
G3	29	5,8 (5,2)	c

G1= Adper SE Plus + RelyX ; G2= Adper SE Plus + Catalisador + Relay X; G3+ Clearfil SE Bond + ED Primer + Panavia F.

A análise da tabela 3 mostra que a menor média de resistência ao cisalhamento por extrusão, para o fator grupo, foi obtida pelo grupo 3 que apresentou diferença estatística significativa para os grupos 1 e 2 que não diferiram entre si.

Tabela 4 - Resultado do teste de Tukey para o Fator Parcela no ensaio de resistência ao cisalhamento por extrusão (*push-out*) de sistemas para fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, dados originais.

Parcela	N	Média (DP) em MPa	Tukey
Cervical (C)	27	27,0 (18,4)	a
Médio (M)	28	19,3 (15,3)	b
Apical (A)	26	13,9 (12,3)	b

A análise da tabela 4 mostra que a maior média de resistência ao cisalhamento por extrusão, para o fator Parcela, foi obtida no terço cervical que apresentou diferença estatística significativa para os terços médio e apical que não diferiram entre si.

## 4.2 Análise Estatística do Grau de Conversão

Com os dados obtidos no ensaio de Grau de Conversão foram testadas as pressuposições do modelo de análise de variância, teste de Levene, que atestou a normalidade dos dados. Com isso foi aplicado o teste de análise de variância e o seu resultado é apresentado na tabela 5. Para a tomada de decisões foi adotado o nível de 5% de probabilidade ( $\rho \geq 5$ )

Tabela 5 - Resultado do teste de análise de variância para o ensaio de Grau de Conversão.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Grupo	9	1244,819636	138,313293	23,44	<.0001
Resíduo	20	118,006305	5,900315		
Total	29	1362.825941			

CV = 3,64

O resultado da análise de variância mostrou F igual a 23,44, significativo em nível de 5% de probabilidade. Para evidenciar esse resultado foi aplicado o teste de Tukey e o seu resultado é mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultado do teste de Tukey para o ensaio do Grau de conversão.

Grupo	N	Média (DP)	Tukey
RXSBI	3	75,7 (1,3)	a
RXEDS	3	71,2 (4,1)	a
RXEDI	3	70,9 (2,4)	ab
RXSBS	3	70,2 (2,5)	ab
RX	3	69,4 (0,0)	abc
PEDS	3	68,8 (0,5)	abcd
PEDI	3	64,1 (3,4)	bcd
PSBS	3	62,9 (2,5)	cd
PSBI	3	62,0 (0,6)	d
P	3	51,5 (3,0)	e

RXSBI (RelyX + Catalisador Scotchbond incorporado); RXEDS (RelyX + Catalisador ED Primer superficial); RXEDI (RelyX + Catalisador ED Primer incorporado); RXSBS (RelyX + Scotchbond superficial); RX (RelyX sem catalisador); PEDS (Panavia F + Catalisador ED Primer superficial); PEDI (Panavia F + Catalisador ED Primer incorporado); PSBS (Panavia F + Scotchbond superficial); PSBI (Panavia F + Scotchbond incorporado); P (Panavia F sem catalisador).

Ao se analisar os resultados apresentados na Tabela 6 pode-se notar que o cimento resinoso Panavia F apresentou o menor grau de conversão, após vinte e quatro horas, com diferença estatística significativa para todas as outras condições

estudadas, porém o uso de catalisadores químicos aumentou significativamente o seu grau de conversão. Por outro lado, após vinte e quatro horas, o cimento RelyX ARC não apresentou diferença estatística quando se utilizou catalisadores químicos, independente do modo de aplicação.

### 4.3 Análise Estatística da Nanoinfiltração

Antes de se aplicar o teste de análise de variância, foram testadas as pressuposições do modelo, teste de Levene, que apontou a normalidade dos dados. Seu resultado é apresentado nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Resultado da análise de variância para o ensaio de nanoinfiltração para sistemas de fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro.

Causa da Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Grupo	8	16413.62963	2051.70370	5.73	<.0001
Parcela	18	6443.33333	357.96296		
Total	26	22856.96296			

Tabela 8 - Resultado da decomposição da análise de variância para o ensaio de nanoinfiltração para sistemas de fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, com médias transformadas ( $\log_{10}$ ).

Causa da Variação	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Grupo (G)	2	10136,07407	5068,03704	14,16	0,0002
Parcela (P)	2	4620,07407	2310,03704	6,45	0,0077
G x P	4	1657,48148	414,37037	1,16	0,3621

O resultado da análise de variância o valor de F igual a 5,73 significativo em nível de 5% de probabilidade (0,0010), e a decomposição da análise de variância mostrou que os fatores Grupo (0,0002) e Parcela (0,0077) foram significativos, porém a interação entre estes fatores não foi significativa mostrando que os sistemas de fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro e a profundidade no canal radicular são independentes para o ensaio de nanoinfiltração. Assim para

melhor elucidar estes resultados foi aplicado, separadamente, o teste de Tukey para os fatores Grupo e Parcela e os resultados encontram-se nas tabelas 9 e 10 respectivamente.

Tabela 9 - Resultado do teste de Tukey para o Fator Grupo no ensaio de nanoinfiltração de sistemas para fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, dados originais.

Grupo	N	Média (DP)	Tukey
G2	9	39,9 (22,1)	a
G1	9	56,3 (27,1)	a
G3	9	86,6 (18,1)	b

G1= Adper SE Plus + RelyX ; G2= Adper SE Plus + Catalisador + Relay X; G3+ Clearfil SE Bond + ED Primer + Panavia F.

A análise da tabela 9 mostra que a maior média de nanoinfiltração, para o fator Grupo, foi obtida pelo grupo 3 que apresentou diferença estatística significativa para os grupos 1 e 2 que não diferiram entre si.

Tabela 10 - Resultado do teste de Tukey para o Fator Parcela, no ensaio de nanoinfiltração para sistemas de fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, dados originais.

Parcela	N	Média (DP)	Tukey
Cervical (C)	9	43,9 (32,1)	b
Médio (M)	9	63,3 (32,1)	a b
Apical (A)	9	75,7 (14,9)	a

A análise da tabela 10 mostra que a maior média de nanoinfiltração, para o fator Parcela, foi obtida no terço apical que apresentou diferença estatística significativa para o terço cervical, que não diferiu do terço médio.

## 5 DISCUSSÃO

A retenção de pinos pré-fabricados de fibra de vidro é baseada na união às paredes do canal radicular por meio de sistemas adesivos<sup>8</sup> e agentes de fixação resinosos<sup>9</sup>. O mecanismo de união de sistemas adesivos dentinários é realizado através da formação da camada híbrida, que é o resultado da interdifusão de monômeros resinosos por entre as fibras de colágeno do substrato dentinário, expostas pela desmineralização da hidroxiapatita, ali se fixando micromecanicamente<sup>10</sup>.

Neste estudo, durante o tratamento endodôntico não se utilizou substâncias irrigadoras como o hipoclorito de sódio e o peróxido de hidrogênio pelo fato de que qualquer alteração que estas provocassem na dentina intrarradicular seria eliminada durante o preparo do conduto com a broca de largo.

Os agentes ou sistemas de fixação a base de resina vêm sendo desenvolvidos ao longo do tempo com o objetivo de simplificar sua aplicação clínica e de alcançar boas propriedades mecânicas e longevidade da interface de união. Neste contexto, foram desenvolvidos os sistemas adesivos autocondicionantes. Esses sistemas têm a vantagem de eliminar a etapa do condicionamento ácido e lavagem, além da necessidade de se manter a dentina úmida o que simplifica clinicamente, a obtenção da camada híbrida.

Por outro lado, a presença de monômeros ácidos na composição dos sistemas adesivos autocondicionantes para remoção da porção inorgânica da dentina mostrou-se incompatível com compósitos que possuem ativação química ou dual da reação de polimerização<sup>36, 50</sup>. Os valores reduzidos de união são resultado da interação química entre a amina terciária, acelerador da reação química de polimerização, presente no compósito e os monômeros ácidos que não reagiram, presentes na camada mais superficial do adesivo, que tiveram a polimerização inibida pela presença do oxigênio<sup>48</sup>. A interface adesiva produzida por estes sistemas autocondicionantes age como uma membrana semipermeável após a polimerização, permitindo a passagem de fluidos da dentina<sup>56</sup>. Esses monômeros ácidos resultam em uma pobre polimerização do cimento resinoso de dupla polimerização e, conseqüentemente, na redução na resistência de união entre este e o sistema adesivo, podendo levar ao deslocamento do pino intrarradicular<sup>47</sup>.

Segundo Navarra et al.<sup>68</sup> (2009), a ausência de um agente adesivo hidrófobo e insolúvel como um passo final no procedimento adesivo é uma das principais razões para a instabilidade de adesivos simplificados. A aplicação de uma resina hidrófoba e livre de solventes sobre os sistemas adesivos simplificados pode eliminar tanto a incompatibilidade química, causada pelos monômeros ácidos, como reduzir a permeabilidade da camada adesiva<sup>66,67</sup>. Essa cobertura com adesivo hidrófobo também reduz a nanoinfiltração e aumenta a resistência da camada híbrida<sup>15</sup>. Essa camada adicional de adesivo hidrófobo aumenta a camada de união em até 10µm, podendo esta estratégia ser utilizada também em cimentações<sup>15</sup>.

Foram utilizados neste trabalho dois sistemas autocondicionantes de dois passos: o Clearfil SE e o Adper SE Plus que, são classificados como “suaves”, em função de ter o pH próximo a 2<sup>45</sup>. Estes sistemas “suaves” são capazes de formar camadas híbridas finas nas quais a hidroxiapatita permanece parcialmente em torno do colágeno exposto<sup>45</sup>. Ambos contêm monômeros funcionais capazes de estabelecer interação química com a hidroxiapatita deixada em torno de fibras colágenas inseridas na camada híbrida<sup>45</sup> e esta interação parece ser importante para a estabilidade da adesão a longo prazo.

No entanto, o fabricante do sistema adesivo autocondicionante Adper SE Plus não o recomenda para ser usado com materiais de presa dual ou química, como por exemplo, os cimentos resinosos na cimentação de pinos pré-fabricados. Porém, de acordo com esse fabricante, a última camada de adesivo é hidrófoba que, como já ressaltado anteriormente, pode eliminar a incompatibilidade química entre os sistemas adesivos autocondicionantes e os cimentos resinosos. Além disto, neste estudo também foi avaliado um grupo experimental em que se aplicou o catalisador químico do sistema adesivo Scotchbond Multi Uso Plus após a aplicação do sistema adesivo Adper SE Plus. A aplicação deste catalisador teve como objetivo acelerar a reação química de polimerização do cimento resinoso Rely X ARC a fim de diminuir a influência dos monômeros ácidos nas propriedades mecânicas do cimento resinoso<sup>52</sup>.

Por outro lado, Goracci et al.<sup>109</sup> (2005) e Pirani et al.<sup>112</sup> (2005) atribuem a retenção de pinos de fibra de vidro predominantemente à resistência ao deslocamento dada pelo embricamento mecânico dos pinos às paredes do canal radicular, muito mais que à adesão micro-mecânica ou química alcançada pelo agentes adesivos resinosos. De acordo com esses autores, a retenção de pinos

intrarradiculares depende, entre outros fatores, do controle das tensões geradas pela contração de polimerização e da possibilidade de se alcançar um grau de conversão aceitável. Devido a isso, ensaios mecânicos como de resistência à tração<sup>83</sup> e de cisalhamento por extrusão<sup>107</sup> têm sido utilizados para avaliar a resistência à união dos diferentes sistemas restauradores. O ensaio de cisalhamento por extrusão utilizado nesse estudo tem sido indicado por simular melhor as condições em que os pinos são submetidos clinicamente<sup>107</sup>. Usando-se o protocolo do ensaio de *push-out*, as falhas ocorrem paralelamente à interface pino/cimento/dentina, o que é similar às condições clínicas<sup>107</sup>.

Para o fator em estudo, resistência ao cisalhamento por extrusão (*push-out*), pôde-se observar que o tipo de sistema de fixação influenciou significativamente os resultados do ensaio. A menor média de resistência foi obtida pelo Grupo 3 (Clearfil SE Bond + Catalisador ED Primer / Panavia F), que apresentou diferença estatística significativa para o Grupo 1 (Adper SE Plus / Rely X ARC) e Grupo 2 (Adper SE Plus + Catalisador do Scotchbond Multi Uso Plus / RelyX ARC), que não diferiram entre si.

Esses resultados podem ser explicados pela composição dos cimentos resinosos usados neste estudo. O RelyX ARC contém 68% de carga em peso, enquanto o Panavia F tem 78%. De acordo com Prati et al.<sup>101</sup> (1999), as partículas de carga podem agir como um filtro da luz que atravessa o cimento diminuindo a sua intensidade. Somado a isso, o RelyX ARC apresenta em sua composição o monômero diluente trietilenoglicoldimetacrilato (TEGDMA) que proporciona menor viscosidade a este cimento quando comparado ao Panavia F, além de promover aumento no grau de conversão em função desta molécula ser linear e mais flexível, o que aumenta a sua mobilidade e capacidade de reação e o número de reações cruzadas. Assim, o menor grau de conversão somado ao maior conteúdo de carga pode justificar o pior comportamento do Grupo 3 em relação aos Grupos 1 e 2.

O fator de configuração cavitária dentro do canal radicular é aproximadamente 200<sup>83</sup>. Desta maneira, pode-se também especular que a camada híbrida formada pelo sistema Clearfil SE Bond não foi capaz de suportar a contração de polimerização do cimento Panavia F. Esta hipótese é suportada pelo trabalho de Bouillaguet et al.<sup>82</sup> (2003), que concluíram que a tensão de contração no confinamento de canal radicular excede a resistência adesiva cimento-dentina, causando a perda de adesão do cimento.

Quando se analisa os resultados do uso de catalisador químico no comportamento do RelyX ARC observa-se que o mesmo não melhorou significativamente os resultados de resistência ao cisalhamento por extrusão. Assim a hipótese testada de que o catalisador químico aumentaria a velocidade da reação química de polimerização, diminuindo a influência dos monômeros ácidos não polimerizados, não se comprovou. Pode-se inferir que o uso do catalisador químico com o cimento RelyX ARC diminuiu a fase pré-gel da polimerização, não permitindo o escoamento adequado dos monômeros e aumentando a tensão de contração na interface de união.

Para o fator terço radicular, a maior média de resistência ao cisalhamento por extrusão, foi obtida no terço cervical que apresentou diferença estatística significativa para os terços médio e apical, que não diferiram entre si.

Os cimentos resinosos duais foram desenvolvidos para conciliar as características favoráveis dos cimentos quimicamente ativados com as dos fotoativados, como um maior tempo de trabalho e a possibilidade de alcançar um alto grau de conversão na presença ou ausência de luz<sup>18</sup>. Entretanto, alguns estudos demonstram que há uma redução significativa do grau de conversão de grande parte dos cimentos resinosos duais na ausência de fotoativação<sup>18, 99, 100</sup>. Este fato justifica-se, pois à medida que a luz atravessa o cimento resinoso ocorre a sua absorção e dispersão, causadas principalmente pela carga inorgânica que absorve parte de sua energia, o que pode levar a um menor grau de conversão à medida que a região se afasta da fonte geradora de luz<sup>101</sup>, além disto, a menor polimerização pode diminuir as propriedades mecânicas e levar à instabilidade dimensional, assim como à liberação de monômeros que não se converteram em polímero. Estes monômeros residuais podem permanecer na camada mais superficial que tem a polimerização inibida pelo oxigênio ou pela ineficiência de fotoativação do adesivo nas regiões mais profundas do canal. Estes monômeros ácidos residuais inibem a parte da reação de polimerização do cimento resinoso ativada quimicamente<sup>48</sup>, isto porque o monômero ácido se associa à amina terciária, que perde a capacidade de reduzir o peróxido de benzoíla na reação de oxi-redução responsável pela geração do radical livre que inicia a reação de polimerização<sup>53</sup>. Assim o melhor resultado, no ensaio de push – out, apresentado no terço cervical pode ser explicado pela maior efetividade de polimerização proporcionada pela proximidade da fonte de luz.

Por outro lado, o mesmo comportamento apresentado pelos terços médio e apical pode ser explicado pelo fato de que a efetividade da fotoativação não vai além do terço cervical e que a retenção dos pinos nesses terços é conseqüência da ativação química do cimento e de seu embricamento mecânico nas paredes do canal radicular. Corrobora com este resultado o estudo de Pfeifer, Shih e Braga<sup>13</sup> (2003), que demonstrou que a incompatibilidade entre monômeros ácidos e cimentos resinosos duais ocorre em situações em que a luz do fotopolimerizador não consegue alcançar o cimento de forma efetiva.

O grau de conversão de um material resinoso é afetado por muitos fatores, sendo um deles a intensidade da luz que é irradiada<sup>103</sup>. Assim, a premissa levantada para o fator grau de conversão foi se o catalisador químico e/ou o seu modo de aplicação, superficialmente ou misturado ao cimento, teria influência no grau de conversão dos cimentos Rely X ARC e Panavia F. Para isso foram mantidos os parâmetros densidade de potência e tempo.

O maior grau de conversão foi alcançado pelo cimento resinoso RelyX ARC, independentemente do uso de catalisadores.

Buscando uma explicação para o comportamento de diferentes cimentos resinosos duais frente à polimerização, El-Mowafy, Rubo e El-Badrawy<sup>19</sup> (1999) concluiu que ela varia de acordo com sua composição, viscosidade e concentração de iniciador/acelerador, sendo que alguns cimentos duais são dependentes da fotoativação para alcançar maior grau de conversão.

Segundo seu fabricante, o agente de fixação Panavia F é composto por sílica coloidal, Bis-GMA, metacrilóiloxidecildihidrogênio fosfato-MDP, dimetacrilato hidrófilo e hidrófobo, peróxido de benzoíla e canforoquinona (Pasta A) e vidro de bário silanizado, óxido de titânio, fluoreto de sódio, sílica coloidal, Bis-GMA, dimetacrilato hidrófilo e hidrófobo, dietanol p-toluidina, sulfonato de sódio trisopropílico benzênico (Pasta B), com 78% de carga em peso. Já o compósito Rely X ARC é composto, segundo seu fabricante, por Bis-GMA, TEGDMA, pigmentos, aminas e foto iniciadores (Pasta A) e Bis-GMA, TEGDMA, peróxido de benzoíla e partículas de sílica e zircônia, 68% em peso (Pasta B).

O maior conteúdo de carga do cimento Panavia F pode ter contribuído para o menor grau de conversão uma vez que, contendo mais carga, estas teriam agido como filtros ou atenuadores da intensidade de luz<sup>101</sup>. Segundo Prati et al.<sup>101</sup> (1999),

as cargas absorvem parte de sua energia, o que pode levar ao menor grau de conversão à medida que a região se afasta da fonte geradora de luz.

Outra diferença na composição dos dois cimentos está relacionada à concentração do diluente TEGDMA, ausente no cimento Panavia F. A presença de monômeros diluentes leva ao aumento no grau de conversão em função desta molécula ser linear e mais flexível, o que aumenta a sua mobilidade e capacidade de reação<sup>95</sup>. A presença de diluentes como o TEGDMA pode ser justificada pela necessidade do agente cimentante de sofrer escoamento durante a cimentação.

O uso de catalisadores químicos resultou em aumento estatístico significativo do grau de conversão somente para o cimento Panavia F. Os resultados demonstram que o cimento Panavia F é dependente do catalisador para alcançar maior grau de conversão, o que já é descrito pelo fabricante na bula. Os catalisadores fornecem radicais livres adicionais e aumentam o grau de conversão dos sistemas adesivos, reduzindo a sua permeabilidade<sup>53</sup>, acelerando a reação química de polimerização do cimento<sup>52</sup>. O catalisador do cimento Panavia F, o ED Primer, contém o sal sulfinato de sódio benzênico T-isopropílico, como co-iniciador no *Primer B*. Este sal reage com os monômeros resinosos ácidos do *Primer A* e com o próprio cimento produzindo radicais livres que incrementam a reação de polimerização<sup>53</sup>. A adição desses sais aumenta a reação de polimerização dos adesivos, reduzindo a concentração de monômeros ácidos disponíveis para reagir com a amina terciária do cimento<sup>89</sup>.

O efeito do ED Primer sobre o grau de conversão do Panavia F pode ser explicado da seguinte forma: o *primer A* contém a amina dietanol-*p*-toluidina, levando a um aumento na concentração de aminas no cimento resinoso e, conseqüentemente, no grau de conversão. Além disso, o *primer B* apresenta o sal sulfinato de sódio benzênico T-isopropílico que, ao se misturar com o monômero resinoso 10-MDP, presente tanto no *primer B* como no Panavia F, reage com esse, liberando radicais livres hábeis em iniciar a reação de polimerização do cimento<sup>53</sup>.

É importante frisar que a análise do grau de conversão foi feita à temperatura ambiente, que segundo Kumbuloglu et al.<sup>100</sup> (2004), pode causar uma reação mais lenta quando comparada àquela que ocorre na temperatura da cavidade bucal.

O termo nanoinfiltração foi definido primeiramente como sendo a impregnação de grãos de prata dentro das porosidades da camada híbrida que não foram adequadamente preenchidas pela resina<sup>17</sup>. Porém, um segundo modo de

nanoinfiltração tem sido descrito e ocorre na interface de união<sup>12</sup>. Grãos de prata foram identificados não apenas nas porosidades da camada híbrida, mas também dentro da camada de adesivo<sup>17</sup>. Este modo reticular de nanoinfiltração tem sido atribuído a áreas nas quais a água foi removida incompletamente, e a sua manifestação morfológica são as chamadas “árvores de água” (water trees)<sup>54</sup>. Denominação feita em função do seu aspecto ramificado<sup>59</sup>.

No entanto, todas as avaliações da nanoinfiltração são feitas de forma qualitativa. Neste estudo foi realizada a quantificação desta nanoinfiltração, em porcentagem, com o objetivo de se mensurar e facilitar a comparação entre os grupos experimentais, uma vez que a nanoinfiltração pode prognosticar o comportamento da camada híbrida em longo prazo, predizendo o comportamento dos sistemas de cimentação de pinos pré-fabricados.

Para o fator nanoinfiltração, a capacidade de selamento foi afetada pelo tipo de sistema de cimentação, sendo a maior média da nanoinfiltração obtida pelo Grupo 3, que apresentou diferença estatística significativa para os Grupos 1 e 2, que não diferiram entre si. No entanto, observou-se a presença de sais de prata na interface adesiva entre a dentina radicular e o cimento resinoso, no nível da camada híbrida, em praticamente todos os grupos. O mesmo não foi observado entre o pino e o cimento resinoso. Por este fato podemos inferir que a união entre o pino e o cimento resinoso através do silano foi efetiva.

Como os sistemas adesivos usados neste estudo apresentam água e monômeros hidrófilos na sua composição, a diferença no comportamento em relação à nanoinfiltração pode ser explicada pela diferença de composição destes materiais. Outro aspecto importante a ser salientado é que os adesivos suaves, como os usados neste estudo, formam camada híbrida estreita, com aproximadamente 0,5  $\mu\text{m}$  de espessura<sup>45</sup>. Como o fator cavitário no canal radicular é muito elevado, além da diminuição da fase pré-gel durante a polimerização, devido ao uso de catalisadores químicos nos Grupos 2 e 3, a somatória destes dois fatores pode explicar os resultados do teste de nanoinfiltração para esses grupos.

Quando se observa os resultados de nanoinfiltração para o fator Profundidade, a maior média foi obtida no terço apical que apresentou diferença estatística significativa para o terço cervical, que não diferiu do terço médio. Sabe-se que a efetividade da polimerização dos materiais resinosos tem influência no comportamento mecânico dos mesmos<sup>92</sup>. O terço cervical recebe diretamente a luz

irradiada pelo aparelho fotoativador, com isso a polimerização neste terço radicular é mais efetiva porque não depende da quantidade de catalisadores químicos presentes no cimento e/ou da aplicação adicional de catalisadores químicos. Além disso, também já foi estabelecido na literatura que a velocidade da reação de polimerização está diretamente relacionada com a maior ou menor influência dos monômeros ácidos não polimerizados na reação de oxi-redução<sup>53</sup>. Como nos terços médio e apical da raiz a luz tem dificuldade de ativar a canforoquinona do cimento devido a menor densidade de energia, consequência da maior distância da fonte de luz e da dissipação desta luz pelas partículas de carga, a reação de polimerização é mais lenta, apesar dos catalisadores. Assim sendo, a influência dos monômeros ácidos nesta região é maior.

A cimentação de pinos de fibra de vidro à dentina intrarradicular representa uma condição clínica desafiadora não só em termos de controle da contração de polimerização como também no que diz respeito ao cuidado na seleção do sistema de cimentação. É de fundamental importância conhecer a composição dos materiais a serem utilizados, assim como a consequência de sua associação.

Neste trabalho ficou claro que a utilização de catalisador químico na cimentação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro com o sistema autocondicionante Adper SE Plus junto ao cimento RelyX ARC não foi efetivo em aumentar resistência ao cisalhamento por extrusão - *push out* e nem de melhorar a qualidade do selamento dentinário, analisado pela nanoinfiltração, nos terços cervical, médio e apical da raiz. Porém, os resultados mostraram que é possível indicar o sistema adesivo Adper SE Plus associado a materiais com presa dual, desde que sejam do mesmo fabricante. Por outro lado, indicação do sistema de cimentação Clearfil SE Bond/ED Primer/Panavia F, na fixação de pinos pré-fabricados de fibra de vidro, necessita de maior evidencia científica.

## 6 CONCLUSÕES

- a) A utilização de catalisadores químicos junto aos sistemas adesivos autocondicionantes e agentes de fixação resinosos de dupla polimerização estudados, não foi capaz de aumentar sua resistência ao cisalhamento por extrusão - *push out*;
- b) A utilização de catalisadores químicos junto aos sistemas adesivos autocondicionantes e agentes de fixação resinosos de dupla polimerização estudados, não foi capaz de alterar o padrão da qualidade da camada híbrida, representado pela nanoinfiltração;
- c) A análise do grau de conversão dos cimentos estudados demonstrou que o Panavia F foi dependente da associação dos catalisadores químicos para sua adequada polimerização.
- d) O terço cervical apresentou a maior média de resistência ao cisalhamento por extrusão e a menor média de nanoinfiltração, quando comparado aos terços médio e apical.
- e) A nanoinfiltração está associada inversamente ao grau de conversão dos sistemas de cimentação, o que contribui negativamente para a resistência adesiva de pinos de fibra de vidro.

## REFERÊNCIAS

1. Sorensen JA, Martinoff JT. Intracoronal reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent.* 1984; 51(6):780-4.
2. Assif D, Gorfil C. Biomechanical considerations in restoring Endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent.* 1994; Jun;71(6):565-7.
3. Gutmann JL. The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent.* 1992; 67(4): 458-67.
4. Rolf KC, Parker MW, Pelleu GB. Stress analysis of five prefabricated endodontic dowel designs: a Photoelastic Study. *Oper Dent.* 1992; 17(3): 86-92.
5. Christensen GJ. Posts and cores: state of the art. *J Am Dent Assoc.* 1998; 129(1): 96-7.
6. Pest LB, Cavalli G, Bertani P, Gagliani M. Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. *Dental Mater.* 2002; 18(8): 596-602.
7. Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A. Finite element analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth. *J Prosthet Dent.* 2005; 94(4):321-9.
8. Serafino C, Gallina G, Cumbo E, Ferrari M. Surface debris of canal walls after post space preparation in endodontically treated teeth: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2004; 97(3):381-7.
9. Nash RW. The use of posts for endodontically treated teeth. *Compend Contin Educ Dent.* 1998; 19(10): 1054-62.
10. Nakabayashi N, Pashley DH. Hybridization of dental hard tissue. Tokyo: Quintessence Publishing Co; 1998.

11. Yoshida Y, Nagakane K, Fukuda R, Nakayama Y, Okazaki M, Shintani H, Inoue S, Tagawa Y, Suzuki K, De Munck J, Van Meerbeek B. Comparative study on adhesive performance functional monomers. *J Dent Res.* 2004; 83(6):454-8.
12. Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Itthagarun A. Single-step adhesives are permeable membranes. *Journal of Dentistry.* 2002; 30:371—82.
13. Pfeifer C, Shih D, Braga RR. Compatibility of dental adhesives and dual-cure cements. *Am J Dent.* 2003; 16(4): 235-8.
14. Tay FR, Suh BI, Pashley DH, Prati C, Chang SF, LI F. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and self-cured or dual-cured composites. Part II. Single-bottle, total-etch adhesive. *J Adhes Dent.* 2003c; 5(2): 91-105.
15. Carvalho RM, Pegoraro TA, Tay FR, Pegoraro LF, Silva NR, Pashley DH. Adhesive permeability affects coupling of resin cements that utilise self-etching primers to dentine. *J Dent.* 2004; 32(1): 55-65.
16. Sano H, Dhono T, Takatsu T, Hosoda H. Microporous dentin zone beneath resin impregnated layer. *Oper Dent.* 1994; 19(2):59-64.
17. Sano H, Takatsu T, Ciucchi B, et al. Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. *Oper Dent.* 1995; 20(1):18-25.
18. Braga RR, Cesar PF, Gonzaga CC. Mechanical properties of resin cements with different activation modes. *J Oral Rehabil.* 2002; 29(3): 257-62.
19. El-Mowafy OM, Rubo MH, El-Badrawy WA. Hardening of new resin cements cured through a ceramic inlay. *Oper Dent.* 1999; 24(1):38-44.
20. Fonseca RB, Haiter-Neto F, Fernandes-Neto AJ, Barbosa GAS, Soares CJ. Radiodensity of enamel and dentin of human, bovine and swine teeth. *Arch Oral Biol.* 2004; 49(11):912-22.
21. Torneck CD, Titley KC, Smith DC, Adibfar A. Adhesion of lightcured composite resin to bleached and unbleached bovine dentin. *Endodontics Dental Traum.* 1990; 6(3):97-103.

22. Nakamichi I, Iwaku M., Fusayama T. Bovine teeth as possible substitutes in the dhesion test. *J. Dent Res.* 1983; 62(10):1076-81.
23. Reeves GW, Fitchie JG, Hembree Jr, JH, Puckett AD. Microleakage of new dentin bonding systems using human and bovine teeth. *Oper Dent.* 1995; 20(6):230-5.
24. Imfeld T. Comparison of the mechanical effects of a toothbrush and standard abrasive on human and bovine dentine in vitro. *J Clin Dent.* 2001; 12(4):92-6.
25. Esser M, Tinschert J, Marx R. Material characteristics of the hard tissues of bovine versus human teeth. *Dtsch Zahnärztl Z* 1998; 53:713–7.
26. Valandro LF, Filho OD, Valera MC, de Araujo MA. The effect of adhesive systems on the pullout strength of a fiberglass-reinforced composite post system in bovine teeth. *J Adhes Dent.* 2005 Winter; 7(4): 331– 6.
27. Reis AF, Giannini M, Kavaguchi A, Soares CJ, Line SR. Comparison of microtensile bond strength to enamel and dentin of human, bovine, and porcine teeth. *J Adhes Dent.* 2004 Summer; 6(2):117-21.
28. Campos, MIC; Campos, CN ; Vitral, RWF. O Uso de Dentes Bovinos como Substitutos de Dentes Humanos em Pesquisas Odontológicas: Uma Revisão da Literatura. *Pesq.. Bras. Odontopediatria Clín. Integr.* 2008; 8(1):127-132.
29. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res.* 1955; 34(6): 849-53
30. Buonocore MG, Quigley M. Bonding of synthetic resin material to human dentin: preliminary histological study of the bond area. *J Am Dent Assoc.* 1958; 57(6): 807-11.
31. Fusayama T, Nakamura M, Kurosaki N, Iwaku M. Non-pressure adhesion of a new adhesive restorative resin. *J Dent Res.* 1979; 58(4): 1364-70.
32. Kugel G, Ferrari M. The science of bonding: from first to sixth generation. *J Am Dent Assoc.* 2000; 131 (Suppl): 20S-25S.

33. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res.* 1982; 16(3): 265-73.
34. Kanca J 3rd. Improving bond strength through acid etching of dentin and bonding to wet dentin surfaces. *J Am Dent Assoc.* 1992; 123(9): 35-43.
35. Eick, JD, Gwinnett AJ, Pashley DH, Robinson SJ. Current concepts on adhesion to dentin. *Crit Rev Oral Biol Med.* 1997; 8(3): 306-35.
36. Tay FR, Pashley DH, Peters MC. Adhesive permeability affects composite coupling to dentin treated with a self-etch adhesive. *Oper Dent.* 2003a; 28(5): 610-21.
37. Tay FR, Gwinnett AJ, Wei SH. Micromorphological spectrum from overdrying to overwetting acid-conditioned dentin in water-free acetone-based, single-bottle primer/adhesives. *Dent Mater.* 1996; 12(4): 236-44.
38. Reis A, Loguercio AD, Azevedo CL, Carvalho RM, Julio Singer M, Grande RH. Moisture spectrum of demineralized dentin for adhesive systems with different solvent bases. *J Adhes Dent.* 2003; 5(3): 183-92.
39. Watanabe I, Nakabayashi N, Pashley DH. Bonding to ground dentin by a phenyl-P self-etching primer. *J Dent Res.* 1994; 73(6): 1212-20.
40. Rosa BT, Perdigão J. Bond strengths of nonrinsing adhesives. *Quintessence Int.* 2000; 31(5): 353-8.
41. Suh BI, Feng L, Pashley DH, Tay FR. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cured or dual-cured composites. Part III. Effect of acidic resin monomers. *J Adhes Dent.* 2003; 5(4): 267-82.
42. Semeraro S, Mezzanzanica D, Spreafico D, Gagliani M, Re D, Tanaka T, *et al.* Effect of different bur grinding on the bond strength of self-etching adhesives. *Oper Dent.* 2006; 31(3): 317-23.
43. Moura SK, Pelizzaro A, Dal Bianco K, De Goes MF, Loguercio AD, Reis A, *et al.* Does the acidity of self-etching primers affect bond strength and surface morphology of enamel? *J Adhes Dent.* 2006; 8(2): 75-83.

44. Moszner N, Salz U, Zimmermann J. Chemical aspects of self-etching enamel-dentin adhesives: a systematic review. *Dent Mater.* 2005; 21(10): 895-910.
45. Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijav P, *et al.* Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent.* 2003; 28(3): 215-35.
46. De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, Braem M, *et al.* A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res.* 2005; 84(2): 118-32.
47. Conceição, EN *et al.* *Dentística: Saúde e Estética.* 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.
48. Yamauchi J, Study of dental adhesive containing phosphoric acid methacrylate monomer. *Jap J Dent Mater.* 1986; 5(2): 144–154
49. Swift EJ Jr., May KN Jr., Wilder AD Jr. Effect of polymerization mode on bond strengths of resin adhesive/cement systems. *J Prosthodont.* 1998; 7(4): 256-60.
50. Sanares AM, Itthagarun A, King NM, Tay FR, Pashley DH. Adverse surface interactions between one-bottle light-cured adhesives and chemical-cured composites. *Dent Mater.* 2001; 17(6):542-56.
51. Gauthier MA, Stangel I, Ellis TH, Zhu XX. Oxygen inhibition in dental resins. *J Dent Res.* 2005; 84(8): 725-9.
52. Nyunt MM, Imai Y. Adhesion to dentin with resin using sulfinic acid initiator system. *Dent Mater J.* 1996; 15(2): 175-82.
53. Ikemura K, Endo T. Effect on adhesion of new polymerization initiator systems comprising 5-monosubstituted barbituric acids, aromatic sulfinic amides, and tert-butyl peroxy maleic acid in dental adhesive resin. *J Applied Polymer Sci.* 1999; 72(13): 1655-68.
54. Tay FR, Pashley DH, Yiu CK, Sanares AM, Wei SH. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cured or dual-cured composites. Part I. Single-step self-etching adhesive. *J Adhes Dent.* 2003b; 5(1): 27-40.

55. Tay FR, King NM, Suh BI, Pashley DH. Effect of delayed activation of light-cured resin composites on bonding of all-in-one adhesives. *J Adhes Dent.* 2001; 3(3): 207-25.
56. Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Itthagarun A. Single-step adhesives are permeable membranes. *J Dent.* 2002b; 30(7-8): 371-82.
57. Chirila TV. Melanized poly(HEMA) hydrogels: basic research and potential use. *J Biomater Appl.* 1993; 8(2): 106-45.
58. Pashley EL, Zhang Y, Lockwood PE, Rueggeberg FA, Pashley DH. Effects of HEMA on water evaporation from water-HEMA mixtures. *Dent Mater.* 1998; 14(1): 6-10.
59. Tay FR, King NM, Chan KM, Pashley DH. How can nanoleakage occur in self-etching adhesive systems that demineralize and infiltrate simultaneously? *J Adhes Dent.* 2002a;4(4): 255-69.
60. Tay FR, Pashley DH, Garcia-Godoy F, Yiu CK. Single-step, self-etch adhesives behave as permeable membranes after polymerization. Part II. Silver tracer penetration evidence. *Am J Dent.* 2004a; 17(5): 315-22.
61. Tay FR, Pashley DH, Suh B, Carvalho R, Miller M. Single-step, self-etch adhesives behave as permeable membranes after polymerization Part I. Bond strength and morphologic evidence. *Am J Dent.* 2004b; 17(4): 271-8.
62. Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Hiraishi N, Yiu CK. Water treeing in simplified dentin adhesives-deja vu? *Oper Dent.* 2005c; 30(5): 561-79.
63. Mak YF, Lai SC, Cheung GS, Chan AW, Tay FR, Pashley DH. Micro-tensile bond testing of resin cements to dentin and an indirect resin composite. *Dent Mater.* 2002; 18(8): 609-21.
64. Hirashi N, Yiu CKY, King NM, Tay FR. Effect of pulpal pressure on the microtensile bond strength of luting resin cements to human dentin. *Dent Mater.* 2009; 25(1) 58-66.
65. Cheong C, King NM, Pashley DH, Ferrari M, Toledano M, Tay FR. Incompatibility of self-etch adhesives with chemical/dual-cured composites: two-step vs one-step systems. *Oper Dent.* 2003; 28(6): 747-5

66. Jayasooriva PR, Pereira PN, Nikaido T, Tagami J. Efficacy of a resin coating bond strengths of resin cement to dentin. *J Esthet Restor Dent.* 2003; 15(2): 105-13.
67. King NM, Tay FR, Pashley DH, Hashimoto M, Ito S, Brackett WW, *et al.* Conversion of one-step to two-step self-etch adhesives for improved efficacy and extended application. *Am J Dent.* 2005; 18(2): 126-34.
68. Navarra CO, Cadenaro M, Codan B, Mazzoni A, Sergo V, Dorigo ES, Breschi I. Degree of conversion and interfacial nanoleakage expression of three one-step self-etch adhesives. *eur j oral sci.* 2009; 117(4):463-69
69. Chersoni S, Acquaviva GL, Prati C, Ferrari M, Grandini S, Pashley DH, Tay FR. In vivo fluid movement through dentin adhesives in endodontically treated teeth. *J Dent Res.* 2005; 84(3): 223-7.
70. Papa J, Cain C, Messer HH. Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol.* 1994; 10(2): 91-3.
71. Ferrari M, Mannocci F, Vichi A, Cagidiaco MC, Mjor IA. Bonding to root canal: structural characteristics of the substrate. *Am J Dent.* 2000; 13(5): 255-60.
72. Boschian Pest L, Guidotti S, Pietrabissa R, Gagliani M. Stress distribution in a post-restored tooth using the three-dimensional finite element method. *J Oral Rehabil.* 2006; 33(9):690-7.
73. Monticelli F, Toledano M, Tay FR, Cury AH, Goracci C, Ferrari M. Post-surface conditioning improves interfacial adhesion in post/core restorations. *Dent Mater.* 2006a; 22(7): 602-9.
74. Torbjorner A, Karlsson S, Odman PA. Survival rate and failure characteristics for two post designs. *J Prosthet Dent.* 1995; 73(5): 439-444.
75. Barjau-Escribano A, Sancho-Bru JL, Forner-Navarro L, Rodrigues-Cervantes PJ, Perez- Gonzalez A, Sanchez-Marin FT. Influence of prefabricated post material on restored teeth: fracture strength and stress distribution. *Oper Dent.* 2006; 31(1): 47-54.

76. Carvalho CA, Monticelli F, Cantoro A, Breschi L, and Ferrari M. Push-out bond strength of fiber posts luted with unfilled resin cement. *J Adhes Dent* 2009; 11(1):65-70.
77. Hayashi M, Sugeta A, Takahashi Y, Imazato S, Ebisu S. Static and fatigue fracture resistances of pulpless teeth restored with post-cores. *Dent Mater.* 2008; 24(9):1178-86.
78. Boschian Pest L, Cavalli G, Bertani P, Gagliani M. Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. *Dent Mater.* 2002; 18(8):596-602.
79. Sen D, Poyrazoglu E, Tuncelli B. The retentive effects of pre-fabricated posts by luting cements. *J Oral Rehabil.* 2004; 31(6): 585-9.
80. Wrbas KT, Altenburger MJ, Schirmer JF, Bitter K, Kielbassa AM. Effect of adhesive resin cements and post surface *silanization* on the bond strengths of adhesively inserted fiber posts. *J Endod.* 2007; 33(7):840-3.
81. Monticelli F, Toledano M, Tay FR, Cury AH, Goracci C, Ferrari M. Post-surface conditioning improves interfacial adhesion in post/core restorations. *Dent Mater.* 2006a; 22(7): 602-9.
82. Monticelli F, Toledano M, Tay FR, Sadek FT, Goracci C, Ferrari M. A simple etching technique for improving the retention of fiber posts to resin composites. *J Endod.* 2006b; 32(1): 44-7.
83. Bouillaguet S, Troesch S, Wataha JC, Krejci I, Meyer JM, Pashley DH. Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. *Dent Mater.* 2003; 19(3):199-205.
84. Ngoh EC, Pashley DH, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF. Effects of eugenol on resin bond strengths to root canal dentin. *J Endod.* 2001; 27(6): 411-4.
85. Tay FR, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Pashley DH, Mak YF, et al. Ultrastructural evaluation of the apical seal in roots filled with a polycaprolactone-based root canal filling material. *J Endod.* 2005b; 31(7): 514-9.

86. Akgungor G, Akkayan B. Influence of dentin bonding agents and polymerization modes on the bond strength between translucent fiber posts and three dentin regions within a post space. *J Prosthet Dent.* 2006; 95(5): 368-78.
87. Perdigao J, Geraldeli S, Lee IK. Push-out bond strengths of tooth-colored posts bonded with different adhesive systems. *Am J Dent.* 2004; 17(6): 422-6.
88. Takahashi A, Sato Y, Uno S, Pereira PN, Sano H. Effects of mechanical properties of adhesive resins on bond strength to dentin. *Dent Mater.* 2002; 18(3): 263-8.
89. Foxton RM, Nakajima M, Tagami J, Miura H. Bonding of photo and dual-cure adhesives to root canal dentin. *Oper Dent.* 2003; 28(5): 543-51.
90. Grandini S, Sapio S, Goracci C, Monticelli F, Ferrari M. A one step procedure for luting glass fibre posts: an SEM evaluation. *Int Endod J.* 2004; 37(10): 679-86.
91. White SN, Yu Z. Physical properties of fixed prosthodontic, resin composite luting agents. *Int J Prosthodont.* 1993; 6(4): 384-9.
92. Braga RR, Ballester RY, Ferracane JL. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dent Mater.* 2005; 21(10): 962-70.
93. Anusavice K J. *Philips Materiais Dentários.* 11<sup>o</sup> ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2005.
94. Fonseca MRM. *Completamente química: Química orgânica.* São Paulo: FTD; 2001.
95. Andrzejewska E. Kinetics of network formation during photopolymerization. *Trans Acad Dent Mater.* 2004; 18: 69-80.
96. Watts DC. Reaction kinetics and mechanics in photo-polymerised networks. *Dent Mater.* 2005; 21(1): 27-35.

97. Musanje L, Darvell BW. Polymerization of resin composite restorative materials: exposure reciprocity. *Dent Mater.* 2003; 19(6): 531-41.
98. Chen YC, Ferracane JL, Prahll AS. A pilot study of a simple photon migration model for predicting depth of cure in dental composite. *Dent Mater.* 2005; 21(11): 1075-86.
99. Caughman WF, Chan DC, Rueggeberg FA. Curing potential of dual-polymerizable resin cements in simulated clinical situations. *J Prosthet Dent.* 2001; 86(1): 101-6.
100. Kumbuloglu O, Lassila LVJ, User A, Vallittu PK. A study of the physical and chemical properties of four resin composites luting cements. *Int J Prosthodont.* 2004; 17(3): 57-63.
101. Prati C, Chersoni S, Montebugnoli L, Montanari G. Effect of the air, dentin and resinbased composite thickness on light intensity reduction. *Am J Dent* 1999;12:231-4
102. Igemori RM, Reis AF, Giannini M, Paulillo LA. Curing depth of a resin-modified glass ionomer and two resin-based luting agents. *Oper Dent.* 2005; 30(2): 185-9.
103. Rueggeberg FA, Caughman WF. The influence of light exposure on polymerization of dual-cure resin cements. *Oper Dent.* 1993; 18(2):48-55.
104. Le Bell AM, Tanner J, Lassila LV, Kangasniemi I, Vallittu PK. Depth of light-initiated polymerization of glass fiber-reinforced composite in a simulated root canal. *Int J Prosthodont.* 2003; 16(4): 403-8.
105. Wang VJ, Chen YM, Yip KH, Smales RJ, Meng QF, Chen L. Effect of two fiber post types and two luting cement systems on regional post retention using the push-out test. *Dent Mater.* 2008; 24(3):372-7.
106. Giachetti L, Scaminaci Russo D, Bertini F, Giuliani V. Translucent fiber post cementation using a light-curing adhesive/composite system: SEM analysis and pull-out test. *J Dent.* 2004; 32(8): 629-34.

107. Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A, Monticelli F, Raffaelli O, Cardoso PC, Tay F, Ferrari M. The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. *Eur J Oral Sci.* 2004; 112(4):353-61.
108. Roydhouse, R. H., Punch-shear test for dental purpose. *J. Dent. Res. J Dent Res.* 1970; 49(1): 131-136.
109. Goracci C, Fabianelli A, Sadek FT, Papacchini F, Tay FR, Ferrari M. The contribution of friction to the dislocation resistance of bonded fiber posts. *J Endod.* 2005; 31(8):608-12.
110. Lin G, Geubelle PH, Sottos NR. Simulation of fiber debonding with friction in a model composite push-out test. *Int J Solids Struct.* 2001; 38(46-47): 8547-62.
111. Tay FR, Loushine RJ, Lambrechts P, Weller RN, Pashley DH. Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: a theoretical modeling approach. *J Endod.* 2005a; 31(8): 584-9.
112. Pirani C, Chersoni S, Foschi F, Piana G, Loushine RJ, Tay FR, Prati C. Does hybridization of intraradicular dentin really improve fiber post retention in endodontically treated teeth? *J Endod.* 2005; 31(12):891-4.
113. Pashley DH, Carvalho RM. Dentin permeability and dentine adhesive. *J Dent.* 1997; 25(5):355-72.
114. Douglas WH, Fields RP, Fundingsland J. Comparison between the microleakage of direct and indirect composite restorative systems. *Journal of Dentistry.* 1989; 17(4):184-8.
115. Goes MF, Montes MAJR. Evaluation of silver methenamine method for nanoleakage. *J Dent.* 2004;32:391-8.
116. Paul SJ, Welter DA, Ghazi M, Pashley D. Nano-leakage at the dentin adhesive interface vs  $\mu$ -tensile bond strength. *Oper Dent.* 1999; 24(3):181- 88.
117. Pioch T, Staehle HJ, Duschner H, García-Godoy F. Nanoleakage at the composite-dentin interface: a review. *Am J Dent.* 2001;14(4):252-8.

118. Sano H, Yoshikawa T, Pereira PN, Kanemura N., Morigami M, Tagami J, et al. Long-term durability of dentin bonds made with a self-etching primer, in vivo. *J. Dent Res.* 1999; 78(4): 906-11.



















**APÊNDICE B - Valores (%) obtidos na análise do grau de conversão, após 24 hs.**

<b>P</b>		<b>P</b>		<b>P</b>		<b>P</b>		<b>D</b>
<b>24h</b>		<b>A</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>U</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>C C (%)</b>
mostra	ico n pol	ef n pol	U ico polim	ef polim	C	C (%)	D	
	0	0	1	0	0	0	<b>5</b>	
1	,0492	,0309	,592233	,0148	,0199	,743719	<b>3,29</b>	
	0	0	1	0	0	0	<b>4</b>	
2	,0492	,0309	,592233	,0143	,0173	,82659	<b>8,09</b>	
	0	0	1	0	0	0	<b>5</b>	
3	,0492	,0309	,592233	,0104	,014	,742857	<b>3,34</b>	

<b>P</b>		<b>P</b>		<b>P</b>		<b>P</b>		<b>D</b>
<b>ED I 24H</b>		<b>A</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>U</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>C C (%)</b>
mostra	ico n pol	ef n pol	U ico polim	ef polim	C	C (%)	D	
	0	0	1	0	0	0	<b>6</b>	
1	,0492	,0309	,592233	,0077	,0138	,557971	<b>4,96</b>	
	0	0	1	0	0	0	<b>6</b>	
2	,0492	,0309	,592233	,0091	,0144	,631944	<b>0,31</b>	
	0	0	1	0	0	0	<b>6</b>	
3	,0492	,0309	,592233	,0059	,0112	,526786	<b>6,92</b>	

<b>P</b>		<b>P</b>		<b>P</b>		<b>P</b>		<b>D</b>
<b>ED S 24H</b>		<b>A</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>U</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>C C (%)</b>
mostra	ico n pol	ef n pol	U ico polim	ef polim	C	C (%)	D	
	0	0	1	0	0	0	<b>6</b>	
1	,0492	,0309	,592233	,0042	,0083	,506024	<b>8,22</b>	
	0	0	1	0	0	0	<b>6</b>	
2	,0492	,0309	,592233	,0033	,0067	,492537	<b>9,07</b>	
	0	0	1	0	0	0	<b>6</b>	
3	,0492	,0309	,592233	,0033	,0067	,492537	<b>9,07</b>	

<b>P</b>		<b>P</b>		<b>P</b>		<b>P</b>		<b>D</b>
<b>SB I 24H</b>		<b>A</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>U</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>C C (%)</b>
mostra	ico n pol	ef n pol	U ico polim	ef polim	C	C (%)	D	
	0	0	1	0	0	0	<b>6</b>	
1	,0492	,0309	,592233	,0106	,0177	,59887	<b>2,39</b>	
	0	0	1	0	0	0	<b>6</b>	
2	,0492	,0309	,592233	,0106	,0177	,59887	<b>2,39</b>	
	0	0	1	0	0	0	<b>6</b>	
3	,0492	,0309	,592233	,0106	,0172	,616279	<b>1,29</b>	

<b>P</b>		<b>P</b>		<b>P</b>		<b>P</b>		<b>D</b>
<b>SB S 24H</b>		<b>A</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>U</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>C C (%)</b>
mostra	ico n pol	ef n pol	U ico polim	ef polim	C	C (%)	D	
	0	0	1	0	0	0	<b>6</b>	
1	,0492	,0309	,592233	,0109	,0182	,598901	<b>2,39</b>	
	0	0	1	0	0	0	<b>6</b>	
2	,0492	,0309	,592233	,0151	,0241	,626556	<b>0,65</b>	
	0	0	1	0	0	0	<b>6</b>	
3	,0492	,0309	,592233	,0095	,0174	,545977	<b>5,71</b>	

**R**  
**X 24H**

mostra	A	P	R	U	P	R	C	C (%)	D
	ico n pol	ef n pol		ico polim	ef polim				
	0	0	2	0	0	0	0		6
1	,0462	,0222	,081081	,0088	,0138	,637681		9,36	
	0	0	2	0	0	0	0	6	
2	,0462	,0222	,081081	,0088	,0138	,637681		9,36	
	0	0	2	0	0	0	0	6	
3	,0462	,0222	,081081	,0089	,014	,635714		9,45	

**R**  
**X ED I 24**

mostra	A	P	R	U	P	R	C	C (%)	D
	ico n pol	ef n pol		ico polim	ef polim				
	0	0	2	0	0	0	0		7
1	,0462	,0222	,081081	,0031	,0056	,553571		3,40	
	0	0	2	0	0	0	0	7	
2	,0462	,0222	,081081	,0053	,0087	,609195		0,73	
	0	0	2	0	0	0	0	6	
3	,0462	,0222	,081081	,0032	,0049	,653061		8,62	

**R**  
**X ED S 24**

mostra	A	P	R	U	P	R	C	C (%)	D
	ico n pol	ef n pol		ico polim	ef polim				
	0	0	2	0	0	0	0		7
1	,0462	,0222	,081081	,0022	,0043	,511628		5,42	
	0	0	2	0	0	0	0	7	
2	,0462	,0222	,081081	,0024	,004	,6		1,17	
	0	0	2	0	0	0	0	6	
3	,0462	,0222	,081081	,0039	,0057	,684211		7,12	

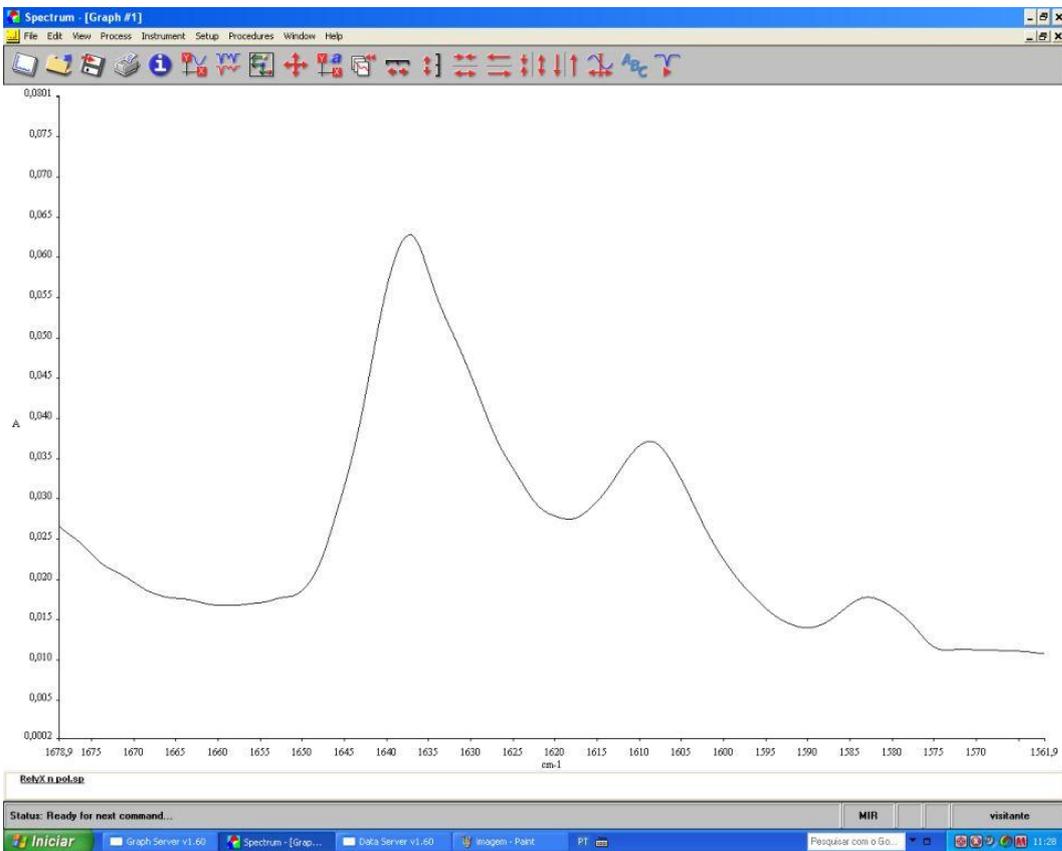
**R**  
**X SB I 24**

mostra	A	P	R	U	P	R	C	C (%)	D
	ico n pol	ef n pol		ico polim	ef polim				
	0	0	2	0	0	0	0		7
1	,0462	,0222	,081081	,0062	,013	,476923		7,08	
	0	0	2	0	0	0	0	7	
2	,0462	,0222	,081081	,0076	,0143	,531469		4,46	
	0	0	2	0	0	0	0	7	
3	,0462	,0222	,081081	,0083	,0163	,509202		5,53	

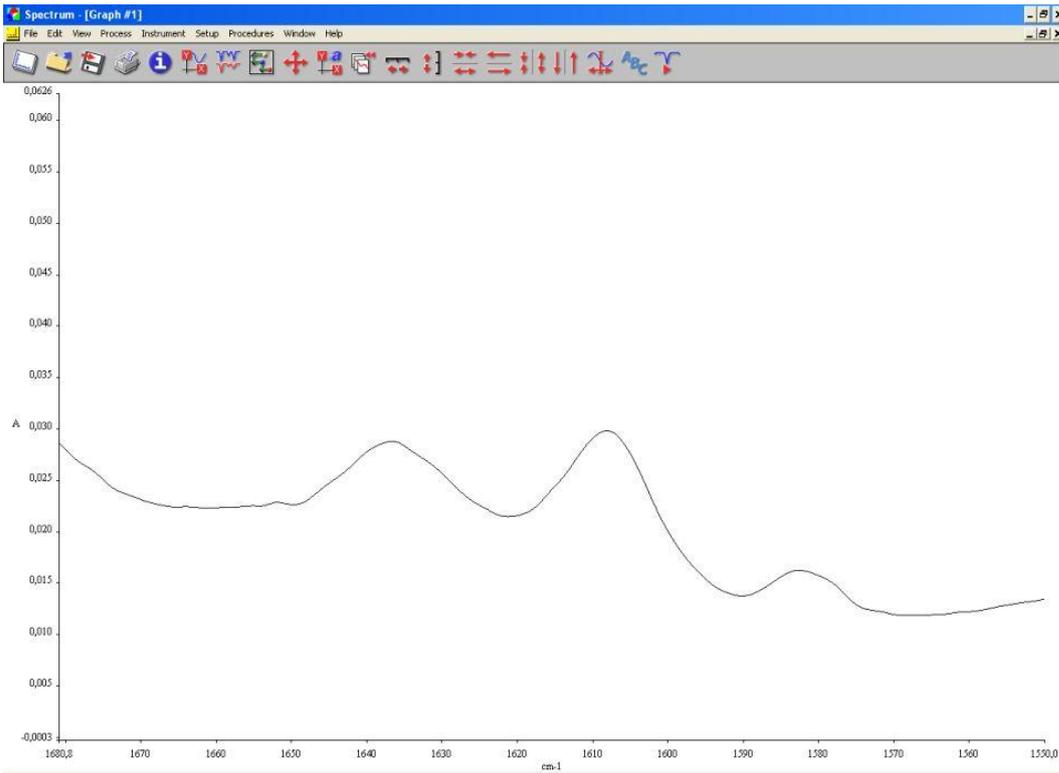
**R**  
**X SB S 24**

mostra	A	P	R	U	P	R	C	C (%)	D
	ico n pol	ef n pol		ico polim	ef polim				
	0	0	2	0	0	0	0		7
1	,0462	,0222	,081081	,0066	,0118	,559322		3,12	
	0	0	2	0	0	0	0	6	
2	,0462	,0222	,081081	,0131	,0202	,648515		8,84	
	0	0	2	0	0	0	0	6	
3	,0462	,0222	,081081	,0175	,0268	,652985		8,62	

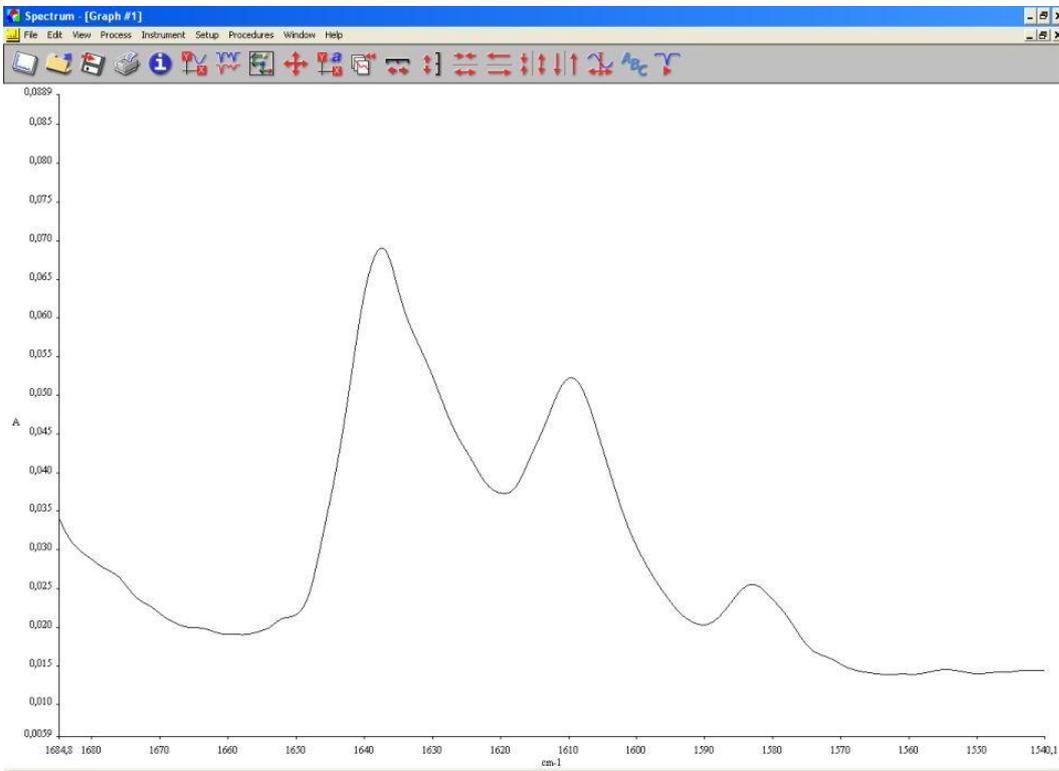
## APÊNDICE C- Exemplos de gráficos gerados durante a análise do Grau de conversão



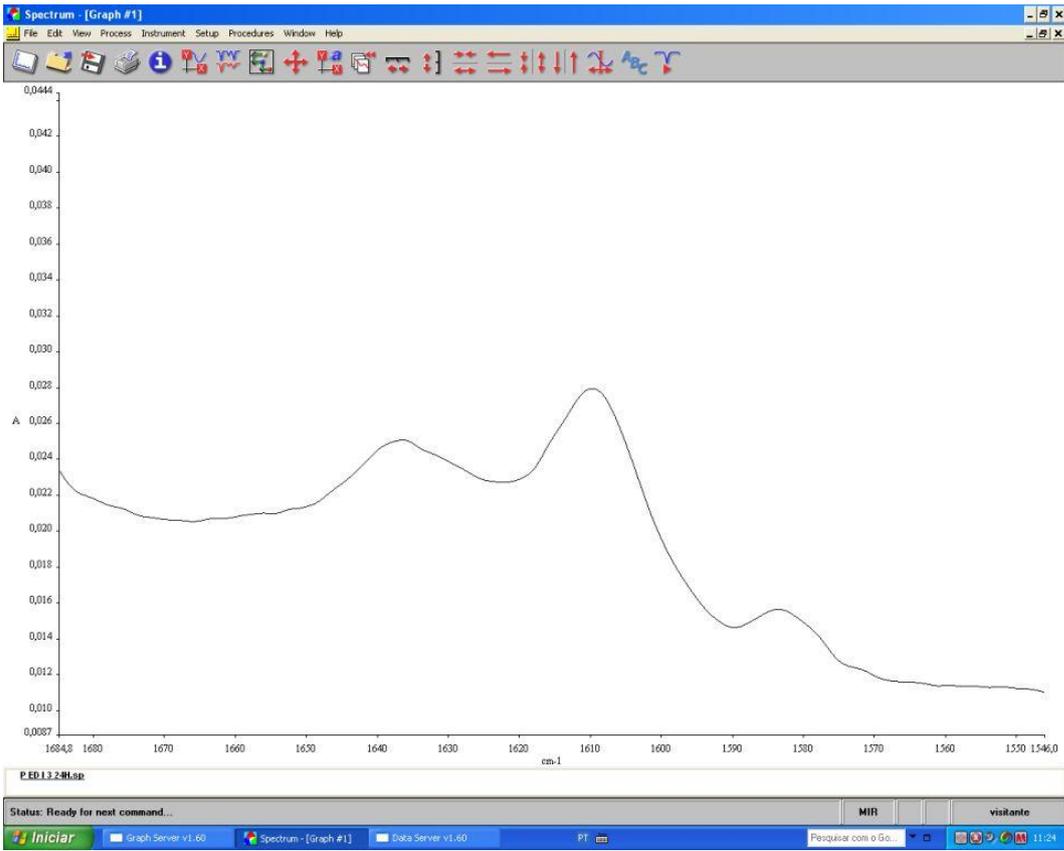
**Cimento Panavia não polimerizado**



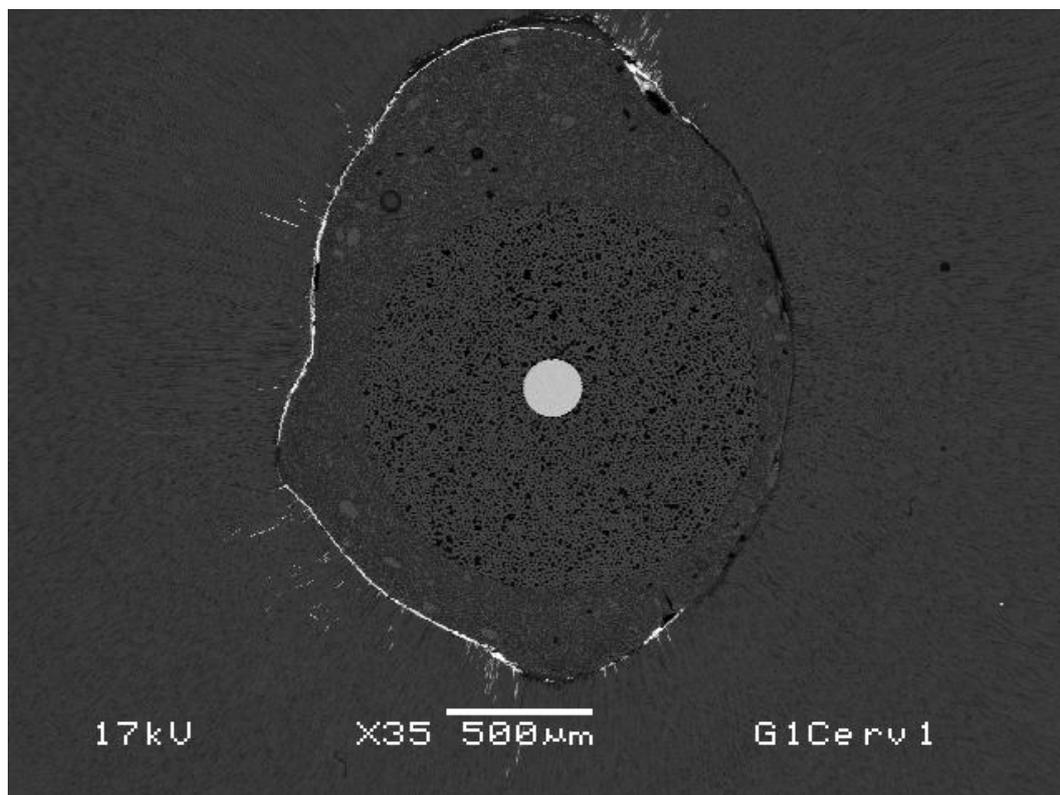
**Cimento Panavia polymerizado com catalisador incorporado- após 24h**



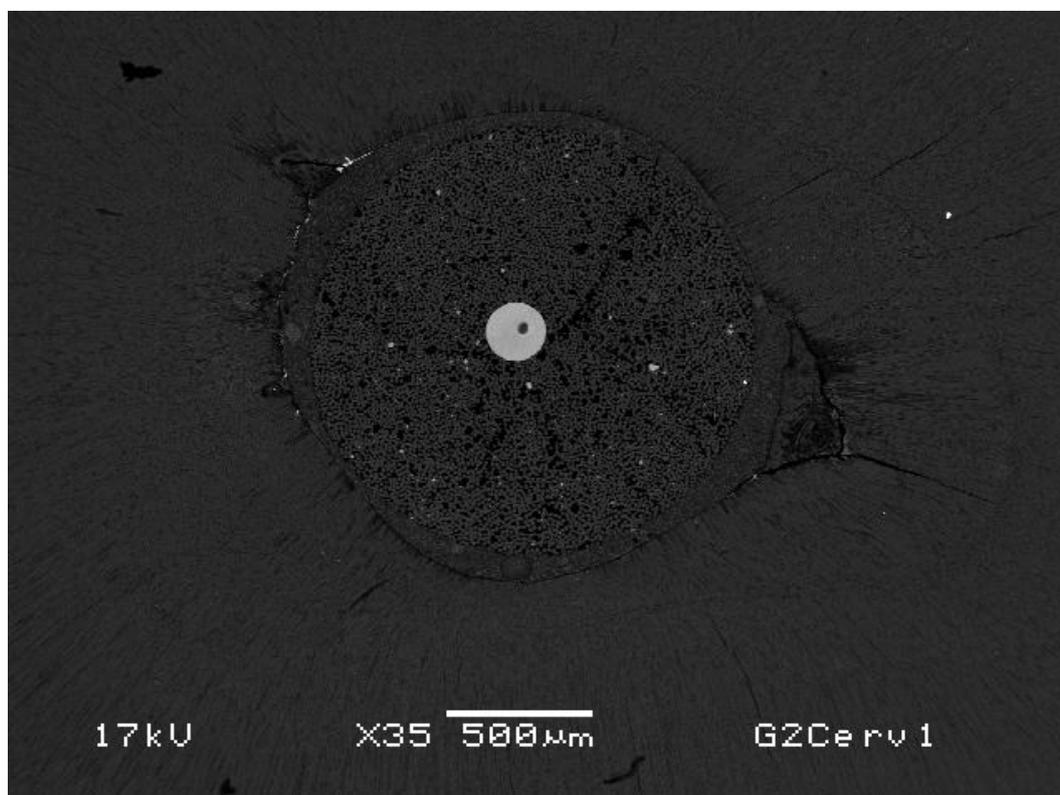
**Cimento Relay X ARC não polymerizado**



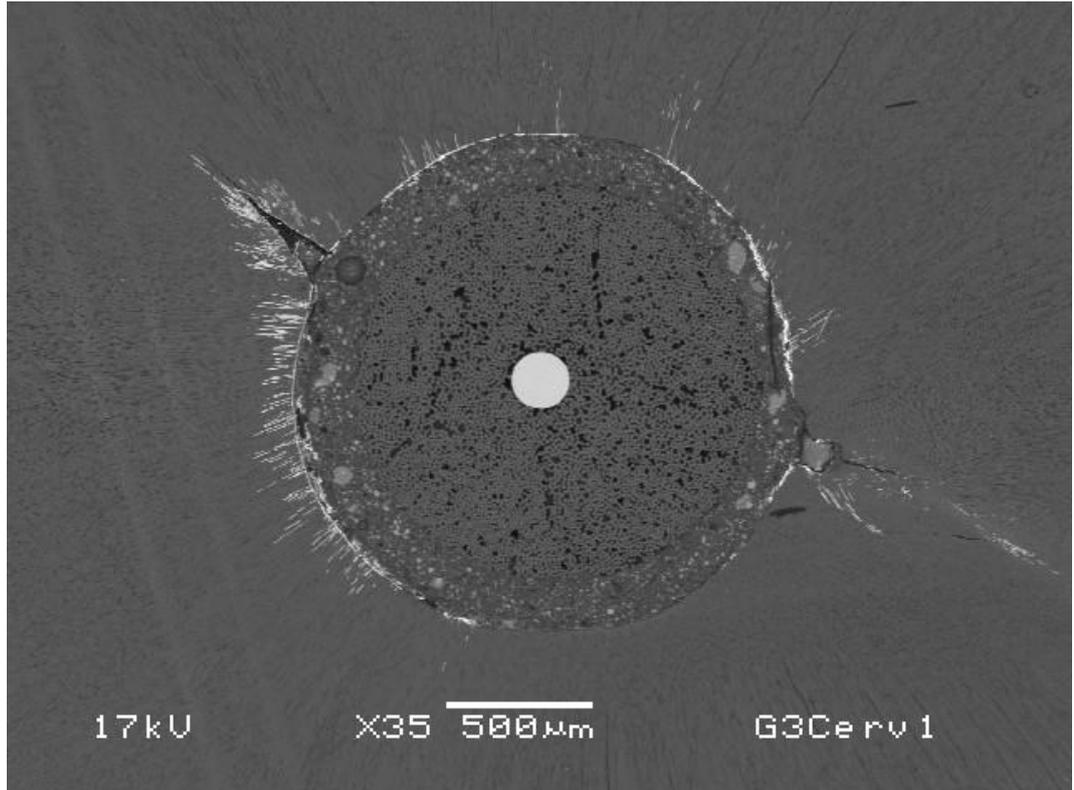
**Cimento RelyX ARC polimerizado sem catalisador**

**APÊNDICE D – Fotomicrografias da análise da nanoinfiltração**

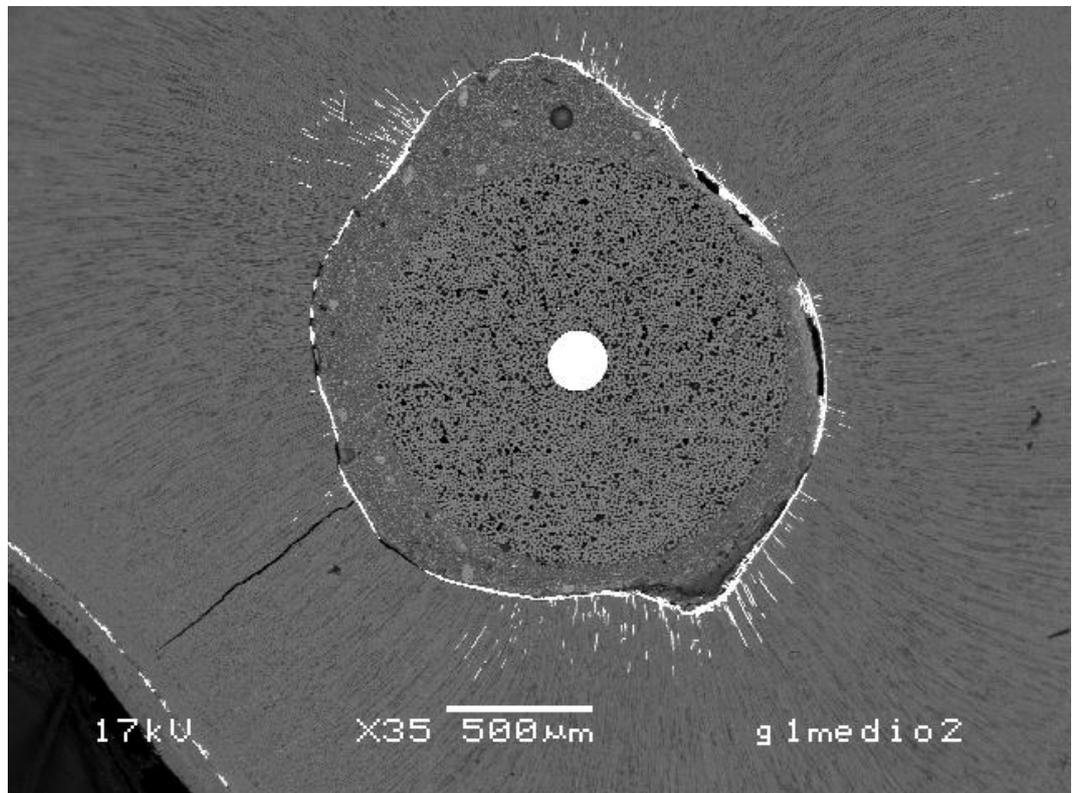
Terço Cervical do Grupo 1.



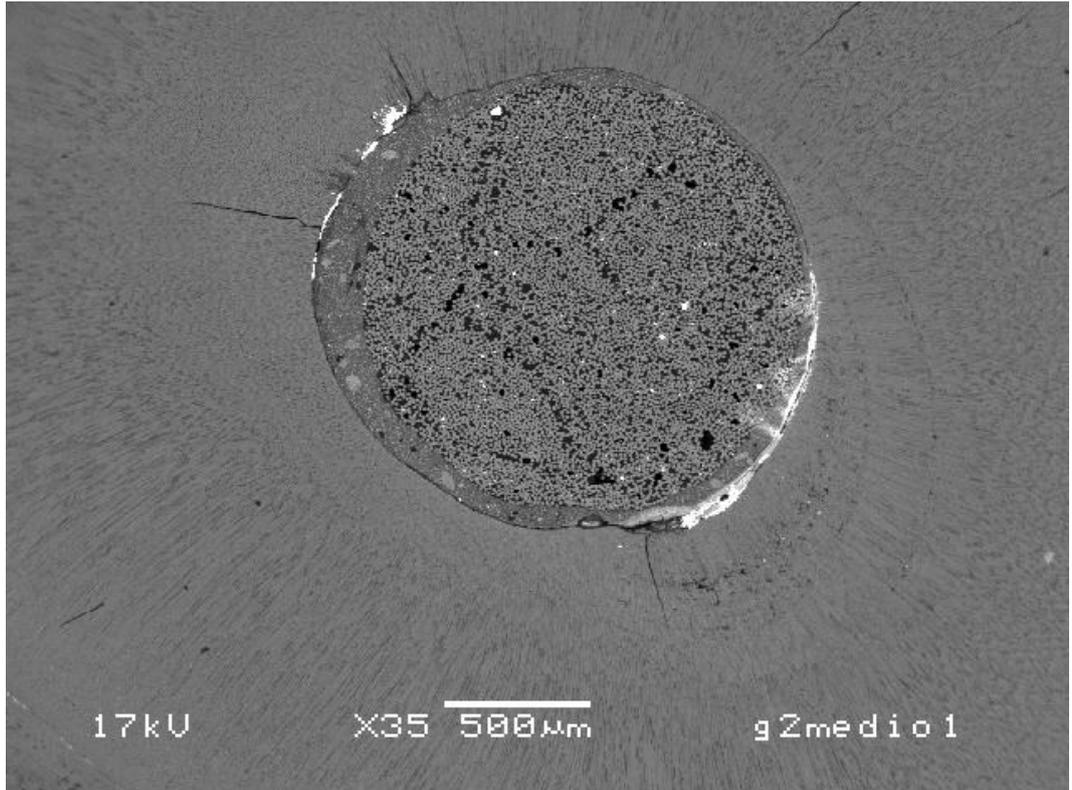
Terço Cervical do Grupo 2.



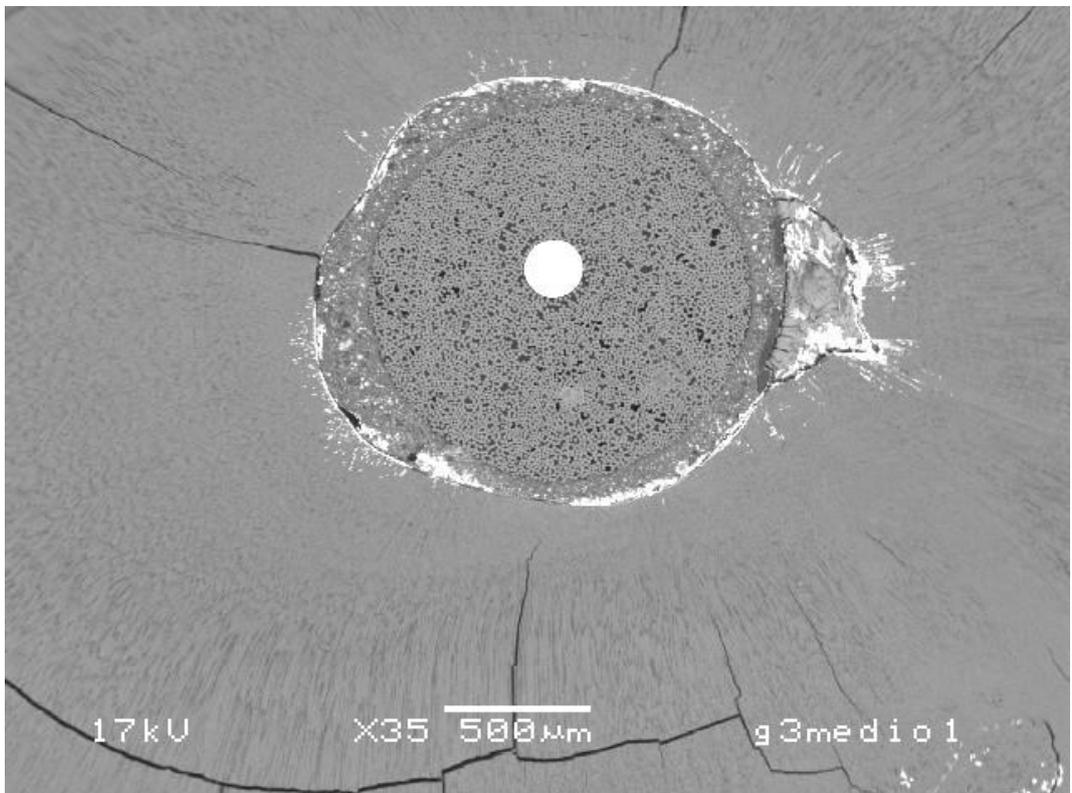
Terço Cervical do Grupo 3.



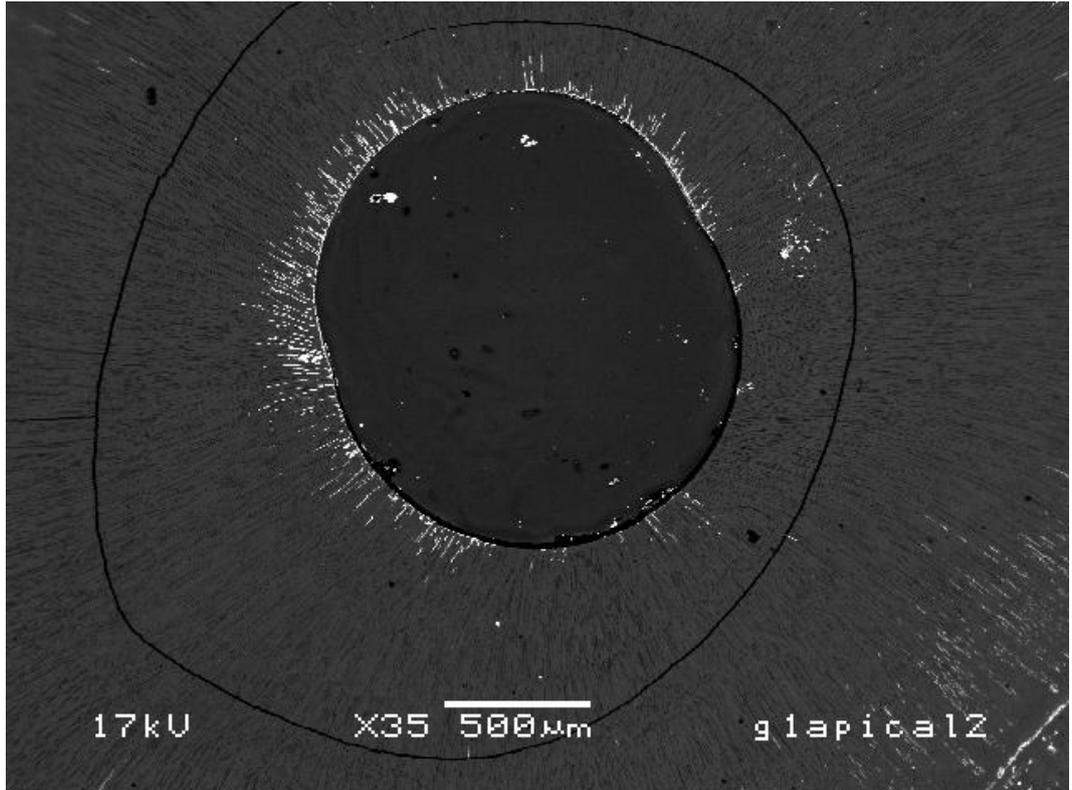
Terço Médio do Grupo 1.



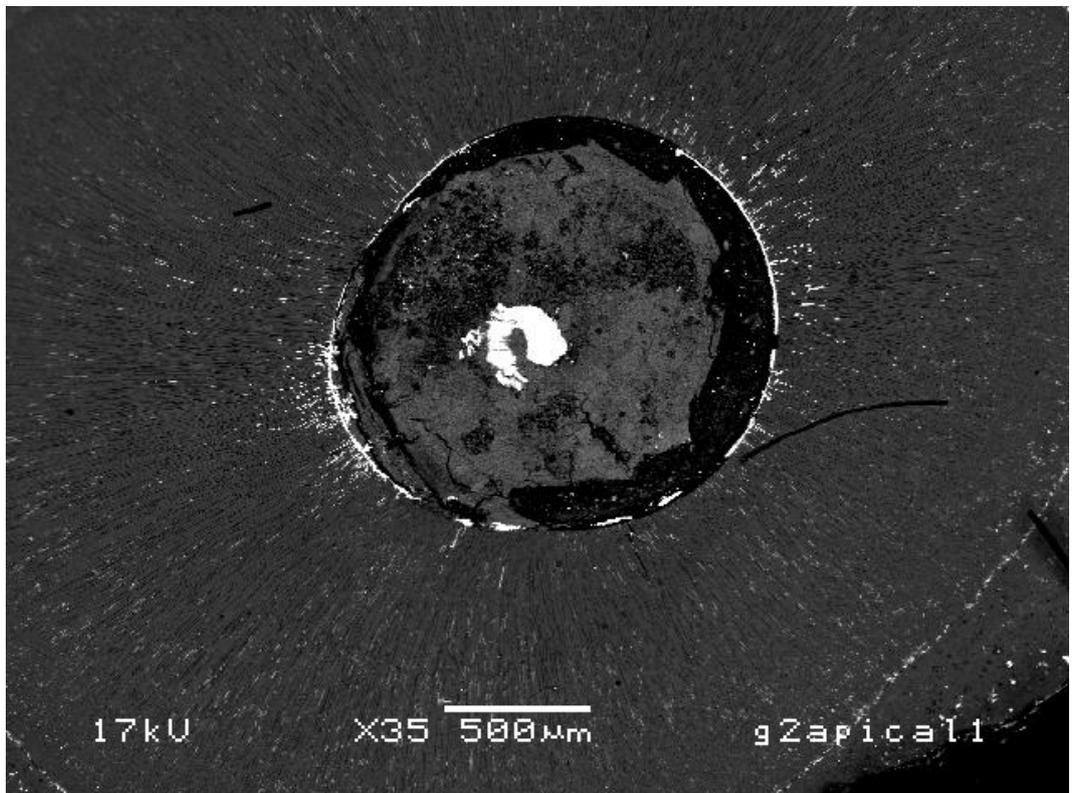
Terço Médio do Grupo 2.



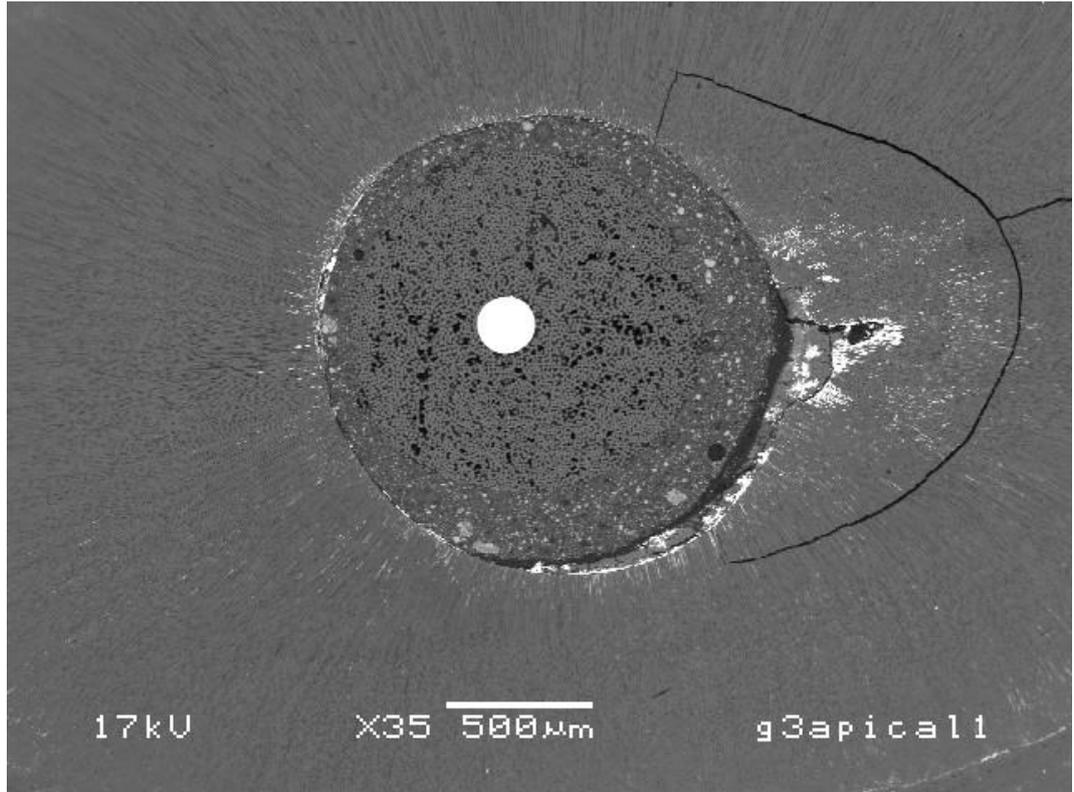
Terço Médio do Grupo 3.



Terço Apical do Grupo 1.

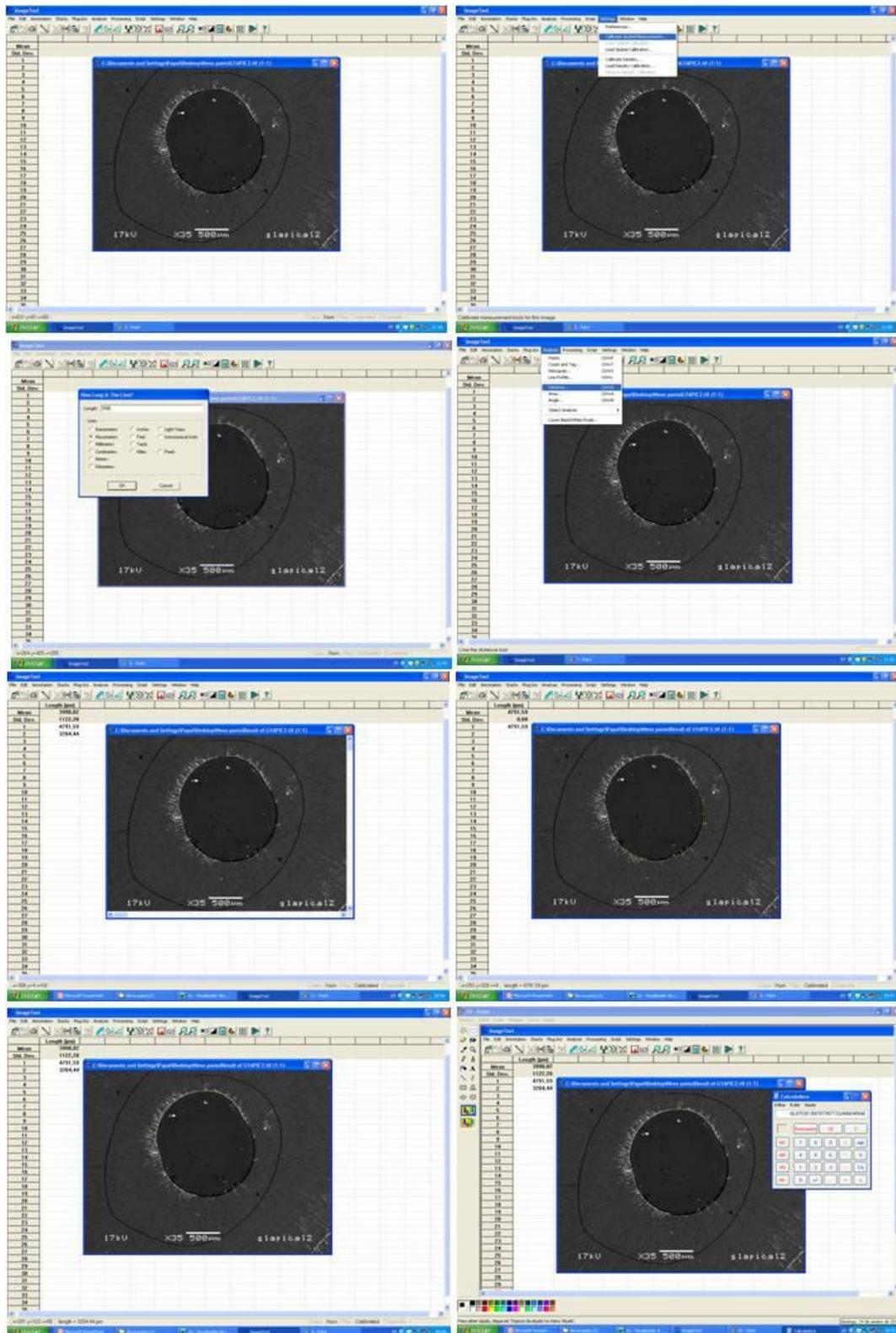


Terço Apical do Grupo 2.



Terço Apical do Grupo 3.

### APÊNDICE E – Análise da nanoinfiltração pelo Programa Image Tool 3.0



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)