

SORAIA DE FÁTIMA CARVALHO SOUZA

**CIMENTOS RESINOSOS ENDODÔNTICOS:
SELAMENTO APICAL, ASPECTOS MICROMORFOLÓGICOS,
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E RESISTÊNCIA DE UNIÃO À
DENTINA**

**São Paulo
2007**

Soraia de Fátima Carvalho Souza

**Cimentos resinosos endodônticos:
selamento apical, aspectos micromorfológicos,
características físicas e resistência de união à dentina**

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, para obter o título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Odontologia.

Área de Concentração: Materiais Dentários

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Francci

Co-orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Bombana

**São Paulo
2007**

Catálogo-na-Publicação
Serviço de Documentação Odontológica
Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Souza, Soraia de Fátima Carvalho

Cimentos resinosos endodônticos: selamento apical, aspectos micromorfológicos, características físicas e resistência de união à dentina / Soraia de Fátima Carvalho Souza; orientador Carlos Eduardo Francci; co-orientador Antonio Carlos Bombana – São Paulo, 2007.

112p.: fig., graf.; 30cm.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Odontologia. Área de Concentração: Materiais Dentários) -- Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.

1. Cimentos resinosos – Selamento apical 2. Endodontia 3. Materiais dentários

CDD 617.695
BLACK D15

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E
PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE E COMUNICADO AO AUTOR A
REFERÊNCIA DA CITAÇÃO.

São Paulo, ____/____/____

Assinatura:

E-mail: sosocarvalho@usp.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Souza SFC. Cimentos resinosos endodônticos: selamento apical, aspectos micromorfológicos, características físicas e resistência de união à dentina [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2007.

São Paulo, ___ / ___ / ___

Banca Examinadora

1) Prof(a). Dr(a). _____
Titulação: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

2) Prof(a). Dr(a). _____
Titulação: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

3) Prof(a). Dr(a). _____
Titulação: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

4) Prof(a). Dr(a). _____
Titulação: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

5) Prof(a). Dr(a). _____
Titulação: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

*A energia que ilumina o meu caminho e me mantém firme
na busca da realização de todos os meus projetos de vida,
que eu chamo de Deus.*

*Aos meus pais, pelo que são e pelo o que sou.
Pelos ensinamentos de boa conduta, ética e amor ao trabalho,
os alicerces de minha formação pessoal.*

Aos meus irmãos, pelo amor que nos une.

A minha avó Abigail (in memoriam),

O meu primeiro referencial de vida. Uma das tantas brasileiras que não teve acesso à escola, mas, por sabedoria divina, sempre acreditou que a educação seria a única possibilidade de mudar o destino de seus descendentes. Para isso, enfrentou todas as adversidades que a vida lhe impusera e com a força que só o amor proporciona não desistiu.

"Mãinha" o teu sonho tornou-se o projeto de vida de cada um de nós.

Se, hoje, eu cheguei até aqui, devo às tuas sábias atitudes tomadas no passado.

Sinto a tua presença nesta conquista.

A ti, dedico este trabalho.

O meu tributo de gratidão.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao meu orientador, Prof Dr Carlos Eduardo Francci.

Por ter me dado a oportunidade de ingressar na pós-graduação desta renomada Instituição, pela colaboração no delineamento experimental desta pesquisa, por ter criado as condições necessárias para que eu a desenvolvesse e, principalmente, por ter acreditado em mim. Minha eterna gratidão.

Ao meu co-orientador, Prof Dr Antonio Carlos Bombana.

"Existem várias maneiras de aprender as coisas. A mais convencional delas é a do discurso pedagógico, da fala organizada que pretende nos ensinar o que precisamos saber. Mas aquela que nos marca de modo mais profundo e duradouro é sempre a da observação do gesto do outro, o exemplo do qual somos testemunhas e cujo significado reconhecemos visceralmente".

(Carlos Diegues)

A tua disponibilidade para ajudar o outro, o teu amor pelo ensino e pela pesquisa, o teu desprendimento e apreço para com todos aqueles que te solicitam, são alguns dos teus exemplos que levarei comigo para sempre. Muito obrigada por tudo.

AGRADECIMENTOS

**À Universidade de São Paulo,
À Universidade Federal do Maranhão,
À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior,**
cuja parceria proporcionou a realização do Programa de Qualificação Institucional (PQI).

À Prof^a Dr^a Cláudia Maria Coelho Alves,
coordenadora do PQI, por nutrir o “sonho” de melhorar a qualidade do ensino e da pesquisa no Curso de Odontologia da UFMA. Numa de suas estratégias para concretizá-lo, solicitou a FOU SP e a CAPES a qualificação de alguns dos nossos docentes. Entre nós, você é um exemplo a ser seguido, e tem a minha sincera admiração. Esta conquista também é sua! Muito obrigada por tudo.

À Prof^a Dr^a Rosa Helena Miranda Grande,
coordenadora do Curso de Pós-graduação em Odontologia da FOU SP, por ter acreditado que esse “sonho” seria possível, viabilizando a realização do PQI.

Ao Prof Dr Leonardo Eloy Rodrigues Filho,
por ter acreditado na proposta do PQI, por seu apoio incondicional, pela perspicácia e inteligência em manter um grupo de Pesquisa Clínica na UFMA sob a coordenação da Prof^a Dr^a Ivone Lima Santana. Você é mais um que ousou juntar-se a esse grupo de “sonhadores”. É muito bom contar com o apoio de um pesquisador de seu nível e competência.

Ao Prof Dr Roberto Ruggiero Braga,
por ter aceitado colaborar com esta pesquisa. A sua dedicação e compromisso com as atividades de ensino e pesquisa no Departamento são admiráveis. Obrigada por sua valiosa contribuição.

Ao Prof Dr Igor Studart Medeiros,
pela disponibilidade de ouvir minhas angústias, de esclarecer minhas dúvidas, de me fazer entender os complexos conceitos e propriedades dos materiais. Só uma pessoa muito especial como você conseguiria fazê-los tão bem. Obrigada por tudo.

Ao Prof Dr Fernando Neves Nogueira,
pelo auxílio necessário para a realização da Curva de Titulação, e pelo entendimento do que ela poderia representar para explicar os resultados apresentados neste estudo.

A todos os outros professores
do Departamento de Biomateriais e Bioquímica Oral, pelo convívio.

À Prof^a Dr^a Lúcia Pereira Barroso,
do Instituto de Matemática e Estatística da USP, pelo tratamento estatístico e interpretação dos resultados do Estudo 1 desta pesquisa.

À Caroline Lumi Myasaki,
a sua ajuda foi indispensável para que eu me tornasse usuária do *software* GMC.

À Sílvia Kenshima,
pela sua participação durante o meu aprendizado de preparo das amostras para MEV. Na fase inicial deste experimento, constatei o quão difícil é acertar o protocolo de preparo de amostras do Prof. Perdigão. “**Silvinha**”, a sua ajuda fez toda a diferença. Sem você, certamente, eu não teria obtido os mesmos resultados. Obrigada pela paciência e pela generosidade em compartilhar comigo os seus conhecimentos.

À Liz D’Agostino,
do Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da USP. A qualidade das imagens deste estudo só foi possível graças a tua competência, dedicação e perfeccionismo. Obrigada pela resignação em procurar o melhor ângulo e o melhor aumento para as imagens, em cada uma das condições experimentais.

À Flávia Gonçalves,
pela boa vontade e presteza com que se dispôs a me ajudar na realização dos ensaios de escoamento e tensão de polimerização. Não por acaso, você será a nossa eterna “**Formiga de Ouro**”, aliás, nunca um título fez tanto jus a quem o recebeu. Obrigada pela solidariedade.

À Carina Castellan,
por ter me ensinado os procedimentos laboratoriais indispensáveis para realização do ensaio de resistência de união, o que contribuiu para dar um enfoque às propriedades mecânicas dos materiais testados. Muito obrigada.

Aos técnicos de laboratório, Antonio Carlos Lascala, Sílvio Peixoto Soares e Douglas Nesadal de Souza, a ajuda de vocês foi imprescindível para a execução desta pesquisa.

Às secretárias, Rosa Cristina e Mirtes Staduto,
pela solicitude sempre que precisamos.

Ao Serviço de Documentação Odontológica da FOU SP,
pela revisão da formatação deste texto.

À Ivone Lima Santana, José Ferreira Costa e Ana Maria Almeida,
obrigada por terem sido os pioneiros deste PQI, pelo apoio e incentivo para que nós trilhássemos o mesmo caminho. Em especial à **Ivone**, pela receptividade e solidariedade quando de nossa chegada a SP.

À Flávia Pires Rodrigues,
pela acolhida quando de nossa chegada ao Departamento. Você foi a primeira a se preocupar com o nosso bem-estar. Agradeço os desenhos digitais que ilustram este trabalho. Você é uma das pessoas mais solidárias que já conheci. Obrigada pelo apoio nos momentos difíceis e pela amizade sincera.

À Isis Poiate,
você chegou depois, mas a tua doçura, a tua generosidade e a tua disponibilidade para ajudar as pessoas são explícitas e é impossível não percebê-las. Você e o **Edgard Poiate** se completam, e são pessoas muito especiais para mim. Tê-los, hoje, como amigos é uma dádiva.

À Andréa Mello,
pela agradável companhia durante as incontáveis horas de laboratório, pelo exemplo de perseverança e dedicação ao trabalho que tu és. Obrigada por ter se revelado tão amiga, mesmo recém-chegada ao Departamento.

À Maria Tereza Moura,
a tua presença no Departamento trouxe um pouco do “calor nordestino”, do qual eu sinto tanta falta. Obrigada por todos os bons momentos compartilhados juntas.

À Sandra Kiss Moura,
pelas incansáveis conversas sobre MEV. Também aprendi muitos “segredinhos” sobre preparo de amostras com você. Nem o Prof. Perdigão os conhece. Não poderia esquecer de agradecer nossas inúmeras caronas na “botinha ortopédica”. “**Sandrinha**”, a tua alegria e o teu bom-humor fizeram a diferença em nossa estada no Departamento. Obrigada pela forma afetuosa que você sempre nos tratou.

À amiga Adriana Vasconcelos,
pela decisão de nos unirmos para vir cursar a pós-graduação na FOU SP. O meu especial agradecimento pela solidariedade, companheirismo e cumplicidade compartilhados durante esses 30 meses de convivência diária. Nossa amizade foi submetida a todas as adversidades e dificuldades do dia-a-dia em SP, o que serviu, tão somente para nos mostrar quão sólida ela é. Tenho absoluta certeza, sozinhas, teria sido muito mais difícil chegar ao final desta jornada. Valeu!

*Cada novo amigo que ganhamos no decorrer de nossa vida nos aperfeiçoa e nos enriquece,
não tanto pelo que nos dá quanto pelo que nos revela de nós mesmo.
(Miguel Unamuno)*

À todos os outros colegas da pós-graduação,
o meu muito obrigada por tudo o que compartilharam comigo durante este período, das atitudes mais simples e corriqueiras como um “bom dia” ou um sorriso, aos mais complexos conhecimentos “materiais”.

MUITO OBRIGADA.

Tudo parece ousado para quem nada se atreve.

Fernando Pessoa

Pesquisa parcialmente apoiada pela CAPES/PQI (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Programa de Qualificação Institucional)

Souza SFC. Cimentos resinosos endodônticos: selamento apical, aspectos micromorfológicos, características físicas e resistência de união à dentina [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2007.

RESUMO

Avaliou-se o selamento apical, os aspectos micromorfológicos da interface adesiva, as características físicas e a resistência de união à dentina de cimentos resinosos endodônticos. Setenta e dois pré-molares humanos unirradiculares foram preparados endodonticamente. Trinta e três dentes foram divididos aleatoriamente em 3 grupos, impermeabilizados externamente e obturados pela técnica da condensação lateral acorde as seguintes condições: AH Plus (AH Plus/Gutapercha); AH Primer (Epiphany primer/AH Plus/Gutapercha) e Epiphany (sistema Epiphany). Foram mantidos a 37°C e 100% de umidade por 72 h e, em seguida, imersos em solução aquosa de nitrato de prata a 50% por 24 h. Após secção longitudinal dos dentes, foram realizadas réplicas em resina epóxica. Réplicas e espécimes foram preparados para MEV. Nas réplicas, observou-se a frequência de fendas apicais na interface dentina/cimento. Nos espécimes, detectou-se e confirmou-se com EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) a microinfiltração apical. A interface dentina/cimento foi observada em seis espécimes de cada grupo, selecionados aleatoriamente. A microinfiltração foi similar entre os grupos ($p>0,05$), sendo influenciada pela frequência de fendas ($p<0,05$). Foram observadas tanto regiões com fendas quanto com camada híbrida e longos *tags* para o grupo Epiphany. Para os grupos AH Primer e AH Plus foi verificada boa adaptação marginal com longos *tags* vazios e pequenos *plugs*, respectivamente, embora tenha ocorrido a formação de fendas em ambos. Os outros dentes foram utilizados para as avaliações

adicionais: seis, para complementar o estudo micromorfológico da interface adesiva; três, para o ensaio de microdureza Knoop; e, trinta, para o teste de resistência de união. O cimento Epiphany mostrou maior escoamento ($p < 0,001$) e tensão de polimerização ($p < 0,05$), e a menor resistência de união ($p < 0,001$). Os valores de microdureza Knoop decresceram acentuadamente de cervical para apical ($p < 0,001$). Concluiu-se que a total impermeabilização do sistema de canais radiculares não foi obtida com nenhum dos cimentos testados, e que o sistema Epiphany formou mais fendas no ápice.

Palavras-Chave: Microinfiltração apical – Cimentos resinosos endodônticos – Microscopia eletrônica de varredura; Fendas apicais – Tensão de polimerização – Resistência de união; Endodontia.

Souza SFC. Resin-based root canal sealers: apical sealing, micromorphological aspects, physical characteristics and bond strength to dentin [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2007.

ABSTRACT

Resin-based root canal sealers had their apical sealing, micromorphological aspects, physical characteristics and bond strength to dentin evaluated in this study. For this purpose, seventy-two single-rooted human premolars were endodontically treated. Thirty-three teeth were randomly divided into three groups, externally coated with nail varnish and obturated by lateral condensation technique according to such conditions: AH Plus (AH Plus/Gutta-percha); AH Primer (Epiphany primer/AH Plus/Gutta-percha) and Epiphany (Epiphany system). They were kept in 100% humidity at 37°C for 72 h, and then the specimens were immersed in 50% aqueous silver nitrate tracer solution for 24 h. The teeth were longitudinally sectioned and their epoxy resin replicas were obtained. Both the specimens and their corresponding replicas were prepared for SEM. In the replicas, the frequency of apical gaps at the dentin/cement interface was observed. In the specimens, the apical microleakage was detected and confirmed by EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*). The dentin/cement interface was observed in six specimens of each group randomly selected. The microleakage was similar among the groups ($p>0,05$) being influenced by gaps frequency ($p<0,05$). The Epiphany group presented gap-containing regions, hybrid layer formation and long tags. For AH Primer and AH Plus groups, good marginal adaptation with long empty tags and small plugs, respectively, although gaps formation was found in both groups. The remaining teeth were used for other evaluations: six, to finish micromorphological study at the adhesive interface; three, for Knoop microhardness;

and thirty, for bond strength test. The Epiphany resin sealer has showed the highest flow ($p < 0.001$) and polymerization stress ($p < 0.05$), and the lowest bond strength values ($p < 0.001$). The Knoop microhardness values have decreased excessively from the cervical to the apical third ($p < 0.001$). It was concluded that none of the sealers tested achieved a complete sealing of the root canals system, and the Epiphany system has developed more gaps to the apex.

Keywords: apical microleakage –resin-based root canal sealers– scanning electron microscopy – apical gaps – polymerization stress – bond strength - Endodontics

SUMÁRIO

	p.
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
3 PROPOSIÇÃO	29
4 MATERIAL E MÉTODOS	30
5 RESULTADOS	59
6 DISCUSSÃO	79
7 CONCLUSÕES	95
REFERÊNCIAS	96
APÊNDICES	106
ANEXOS	112

1 INTRODUÇÃO

A microinfiltração apical é considerada um dos fatores capazes de interferir de forma adversa no sucesso do tratamento endodôntico, por poder comprometer a sanificação obtida nas fases de preparo químico-cirúrgico e medicação intracanal. Para evitar essa possibilidade, a obturação endodôntica deve preencher todo o espaço do canal radicular a fim de criar uma barreira física que dificulte a percolação de fluidos teciduais e microrganismos pela via apical, bem como pela cervical, impedindo a infecção ou reinfecção do sistema de canais radiculares.

Tradicionalmente, os materiais utilizados para esse fim são constituídos por cones de guta-percha associados a um cimento de uso endodôntico. Nas últimas décadas, entretanto, observou-se uma tendência em utilizar agentes adesivos dentinários associados apenas à guta-percha, à guta-percha e cimentos à base de resina epóxica, ou à guta-percha e cimentos à base de metacrilatos para obter melhor selamento do sistema de canais radiculares. É reconhecida a capacidade desses materiais em produzir não somente um imbricamento mecânico, mas também, adesão química à dentina. Esse mecanismo resulta da infiltração de monômeros resinosos na camada superficial da dentina desmineralizada por uma substância condicionadora acídica, envolvendo as fibras colágenas expostas, e sua posterior polimerização, formando um substrato de natureza composta, denominado de camada híbrida. Além disso, a penetração de monômeros nos túbulos dentinários expostos possibilitaria a formação de *tags* e anastomoses entre eles, capaz de prover resistência de união à dentina e reduzir a microinfiltração apical. Até então,

especula-se que essa interface hibridizada poderia contribuir de forma relevante para o sucesso do tratamento endodôntico.

Entretanto, falhas da hibridização dentinária em canais radiculares obturados com a associação de agentes adesivos e cimentos resinosos tem representado um problema persistente, atribuído à sensibilidade da técnica adesiva, principalmente a que utiliza o sistema *etch-&rinse*, e à impossibilidade de fotoativação efetiva do material, sobretudo no terço apical. Tais falhas tornariam a interface adesiva susceptível ao mecanismo de degradação intrínseca e extrínseca ao longo do tempo. Para suprir essas deficiências, os sistemas *self-etch* surgiram como simplificação da técnica adesiva, promovendo simultaneamente a desmineralização e infiltração dos monômeros resinosos, eliminando as etapas críticas de condicionamento e lavagem dos sistemas *etch-&rinse*. Além disso, para a Endodontia, a eliminação da fotoativação do sistema adesivo também seria uma vantagem adicional da simplificação da técnica adesiva.

Portanto, considerando que a consolidação da técnica adesiva em Odontologia Restauradora tornou os procedimentos restauradores e preventivos relativamente seguros, no que tange à resistência e longevidade, parece bastante consistente a hipótese de incorporação de um sistema com cimento resinoso e *self-etching primer* às técnicas de obturação dos canais radiculares, como um procedimento promissor para controlar a microinfiltração apical.

Diante do exposto, esta pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar o selamento apical e a micromorfologia da interface adesiva de obturações endodônticas realizadas com cimentos resinosos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Desde que foi reconhecida a importância da obturação do sistema de canais radiculares para a obtenção do sucesso do tratamento¹⁻⁴ a Endodontia emergiu para uma nova fase, culminando com o aprimoramento das técnicas e dos materiais de obturação endodôntica, que permitiram alcançar maiores índices de sucesso, demonstrados em estudos transversais retrospectivos⁵⁻⁸.

Ao longo dos anos a literatura tem reportado que a permanente busca do selamento apical efetivo poderia ser obtida com materiais de reconhecida propriedade adesiva, utilizados tanto na área odontológica quanto na área médico-cirúrgica, incluindo resinas epóxicas, cimentos à base de metacrilatos, agentes adesivos e selantes, dentre outros. Na década de 70 do século passado foram reconhecidas as excelentes propriedades físico-químicas de cimentos à base de resina epóxica para o selamento do sistema de canais radiculares⁹, entretanto, mais tarde, a confirmação da liberação de formaldeído foi considerada desfavorável para os tecidos¹⁰. No final dos anos 90 a Dentsply (De Trey, Konstanz, Alemanha) introduziu no mercado um cimento à base de resina epóxica, o AH Plus, uma versão modificada do AH-26 (Dentsply, Maillefer), com excelentes propriedades de selamento¹¹, e melhor comportamento biológico em relação à composição original¹².

Com o advento das técnicas adesivas em Odontologia Restauradora na década de 80, alguns pesquisadores apropriaram-se desses materiais para avaliar se eles cumpririam as exigências requeridas pela *International Standardization Organization* (ISO) para serem utilizados como cimentos de obturação endodôntica.

Assim, aspectos como a adesividade à dentina e guta-percha, selamento marginal e facilidade de remoção, quando necessário, foram estudados¹³⁻¹⁹.

A capacidade de selamento apical de um adesivo dentinário, o Scotchbond, associado à guta-percha, mostrou-se superior à da obturação convencional¹³. Com o mesmo propósito, comparou-se a capacidade de selamento apical de quatro adesivos dentinários, de diferentes composições químicas. Foi ressaltada, outra vez, a excelente capacidade adesiva do Scotchbond. Atribuíram-na à união entre os íons Ca^{2+} da dentina ao grupo éster halofósforo do Bis-GMA¹⁴.

A baixa viscosidade de selantes de cicatrículas e fissuras também foi cogitada como uma característica ideal para que fosse utilizado como material de obturação endodôntica. Entretanto, após avaliação em microscopia eletrônica de varredura (MEV) constatou-se que essa baixa viscosidade não foi suficiente para atingir o referido objetivo¹⁵.

Na tentativa de obter melhor selamento apical, a impermeabilização propiciada pelo AH-26 foi comparada à oferecida por adesivos dentinários do tipo *etch-&-rinse* (All-Bond 2 e Scotchbond Multi-Purpose Plus). Os adesivos reduziram significativamente a microinfiltração apical¹⁷. Por isso, num outro estudo, testaram outra vez o cimento AH-26 com e sem o adesivo All-Bond 2. À luz da MEV a adesão da guta-percha/cimento/adesivo às paredes do canal foi significativamente melhor no terço apical para o AH-26/All-Bond 2, possivelmente pela presença de elementos na composição dos três materiais compatíveis entre si¹⁸.

Os resultados obtidos com a associação de adesivos às técnicas de obturação convencional e não-convencional continuaram a motivar os pesquisadores a investir na busca de novos materiais com melhores propriedades

adesivas. Para tanto, foi testado um cimento à base de metacrilatos/adesivo dentinário (C&B Metabond/4-META) (Parkell, Farmingdale, New York EUA), obtendo-se excelente selamento apical¹⁶. Entretanto, por não satisfazer as exigências da ISO teve sua composição química modificada no final da década de 90, recebendo o nome comercial de Endoresin. Mais tarde, suas propriedades físicas e consistência foram aperfeiçoadas para ser empregado de forma injetável, eliminando o uso da guta-percha. Essa nova versão foi chamada de Endoresin-2²⁰.

Seguindo essa mesma filosofia, a composição do n-butyl metacrilato, originariamente utilizado em Ortopedia, foi modificada para tetrahydrofurfuryl metacrilato (THFMA), para ser utilizado com fins endodônticos. Além da já conhecida biocompatibilidade, demonstrou boa adesividade à dentina, à guta-percha, bem como, formação de camada híbrida e *tags*¹⁹.

Outras propostas surgiram nesse contexto, como exemplo o sistema Fibrefill (Jeneric, Pentron, Wallingford, Connecticut, EUA), um cimento à base de metacrilatos e *primer* quimicamente ativado, que mostrou em associação à guta-percha ser uma alternativa promissora para solucionar os problemas advindos da microinfiltração apical^{21,22}.

No mesmo período, a Ultradent Products (South Jordan, Utah, EUA) desenvolveu um novo cimento à base de dimetacrilatos (UDMA) com características hidrofílicas, o EndoRez. A qualidade do selamento obtida com esse cimento foi inferior à do AH Plus^{23,24}. Foram observadas porosidades no cimento indicando a possibilidade de não ter ocorrido sua completa polimerização²³, bem como ausência de penetração nos túbulos dentinários, pouca adesão às paredes do canal e *gaps* na interface cimento/dentina²⁴. Esses achados explicaram sua ineficácia para o selamento apical.

Para tentar solucionar esse problema a Ultradent Products desenvolveu cones de guta-percha recobertos com resina (polibutadieno-diisocional-metacrilato) para aderir quimicamente ao cimento EndoRez, agora numa versão de cura *dual*. Entretanto, após investigação da eficácia dessa tecnologia, observou-se *gaps* e infiltração de nitrato de prata (AgNO_3) nas interfaces dentina/cimento e guta-percha/cimento. Essas falhas foram atribuídas à contração de polimerização do cimento. Parece que a adesão química entre a guta-percha e a resina resistiu melhor à tensão da contração de polimerização do que a união obtida entre a resina e o EndoRez²⁵. Esses resultados foram ratificados pela baixa resistência de união do EndoRez à dentina, em teste de cisalhamento²⁶.

A microinfiltração apical ainda continua sendo um problema, pois diante de deficiências na impermeabilização pode ocorrer o trânsito de microrganismos, seus produtos e subprodutos do interior do canal radicular para os tecidos periapicais ou vice-versa, podendo isso conduzir o tratamento endodôntico ao fracasso. Esse aspecto tem mantido a inquietação dos pesquisadores que continuam a investir na busca de novos materiais com melhores propriedades adesivas. A aplicação do conceito de procedimentos adesivos à dentina radicular ainda continua sendo a esperança de se alcançar o tão almejado objetivo do tratamento endodôntico, que seria pelo menos reduzir, e, se possível, eliminar definitivamente a microinfiltração apical e coronária²⁷.

Essa busca, até o momento, resultou na introdução no mercado odontológico dos primeiros sistemas adesivos com finalidade endodôntica: o RealSeal (SybronEndo, Orange, Califórnia, EUA), o Epiphany (Pentron Clinical Technologies, LLC, Wallingford, Connecticut, EUA), o SimpliFill (LightSpeed, San Antonio, Texas, EUA) e InnoEndo (Heraeus-Kulzer, Inc., Armonk, New York, EUA). Tais sistemas

foram desenvolvidos com o intuito de atender a esta filosofia adesiva. Constituem-se de um *self-etching primer*, um cimento resinoso *dual* e cones de polímero de poliéster (Resilon). De acordo com os fabricantes, permite uma interação química e mecânica com o substrato dentinário radicular formando um *monobloco de resina*, por meio da hibridização da interface dentina/cimento, resultando num selamento apical eficaz^{28,29}. Dentre essas novas propostas destaca-se o sistema Epiphany de tecnologia patenteada pela Pentron Clinical Technologies em 2003. Ele tem mostrado resultados promissores quando comparado ao cimento endodôntico AH-26, em testes de infiltração bacteriana *in vitro*²⁹ e, confirmados *in vivo*, em um modelo experimental em cães³⁰.

O sistema Epiphany tem sido submetido a diversos tipos de testes e avaliações a fim de se mensurar o seu real potencial para substituir os materiais de obturação endodôntica convencionais. O método de transporte de fluido registrou o menor valor quantitativo de infiltração apical para o sistema Epiphany quando comparado à obturação convencional com os cimentos AH-26 ou AH Plus³¹. Entretanto, esse sistema foi incapaz de eliminar a penetração de corante no terço apical quando se comparou a técnica de condensação lateral com a técnica híbrida de Tagger³².

O método de filtração de fluidos foi empregado em três estudos seqüenciais para comparar a eficácia do selamento apical do sistema Epiphany ao do AH Plus/guta-percha³³⁻³⁵. No primeiro estudo foi constatado, após um período de até 90 dias, que o selamento obtido com o sistema Epiphany não foi superior ao da gutapercha/AH Plus³³. O segundo mostrou que o sistema Epiphany foi mais resistente à movimentação de fluidos³⁴. Já, o terceiro, demonstrou resultado igual para os dois

materiais quando da quantificação da filtração de fluidos, antes e depois da ressecção radicular apical incremental³⁵.

Não obstante, em um recente estudo no qual foi avaliada a capacidade de selamento apical do sistema Epiphany e do AH Plus/guta-percha utilizando o método de transporte de fluido, imediatamente após a obturação e 16 meses depois, foi observado inicialmente que os dois materiais mostraram o mesmo potencial para prevenir a infiltração; entretanto, aos 16 meses o sistema Epiphany infiltrou significativamente mais. Foi evidenciado que o tempo pode alterar o resultado do tratamento³⁶. A manutenção do selamento apical e coronário, independente do tipo de material e da técnica endodôntica empregada, torna-se crítica com o tempo, aspecto, aliás, também já salientado em estudos anteriores^{3,4}.

A durabilidade de restaurações adesivas mostrou evidências de degradação após um período mínimo de três meses³⁷. Essa premissa pode ser perfeitamente aplicada aos novos materiais de obturação endodôntica que contêm polímeros em sua composição. Adesivos dentinários, incluindo cimentos resinosos à base de metacrilatos como o Epiphany, quando expostos aos fluidos teciduais, tornam-se altamente suscetíveis à sorção de água³⁸⁻⁴¹. Alguns estudos têm alertado que o Resilon sofre biodegradação enzimática^{42,43} e alcalina⁴⁴. A sorção de água plastifica os polímeros, diminui suas propriedades físico-químicas e, conseqüentemente, a longevidade da interface adesiva pela hidrólise e formação de microfendas⁴⁵. O cimento Epiphany mostrou alta capacidade de sorção de água quando comparado ao AH Plus: 8,02% e 1,07%, respectivamente⁴⁶.

A dissolução do cimento, também é indesejável, por permitir a formação de fendas na interface dentina/cimento, abrindo caminho para a infiltração de fluidos e microrganismos. Os valores de solubilidade dos cimentos Epiphany e AH Plus foram

comparados em dois estudos, sendo (4,02% e 0,16%)⁴⁶ e (3,41% e 0,21%)⁴⁷, respectivamente. Em ambos os estudos ficou estatisticamente estabelecida a maior dissolução apresentada pelo cimento Epiphany.

Um outro fator que pode interferir na resistência e estabilidade da interface de união dentina/resina é a incompleta infiltração de monômeros na dentina desmineralizada⁴⁸, o que resultaria na movimentação de fluidos para dentro dos espaços que permaneceram vazios ao longo das fibras colágenas na camada híbrida, denominada de nanoinfiltração^{49,50}. Essa inconsistente hibridização dentinária foi recentemente associada aos adesivos *self-etch*. Foi demonstrada em microscopia eletrônica de transmissão (MET) a existência de áreas de dentina desmineralizada e não infiltrada abaixo da camada híbrida, contrariando o conceito de que os adesivos *self-etch* desmineralizam e infiltram a dentina na mesma extensão⁵¹.

Numa outra vertente, alguns estudos foram realizados para investigar a presença de espaços vazios, localizados no terço apical de obturações endodônticas realizadas com o sistema Epiphany⁵²⁻⁵⁴. Um demonstrou que sua eficácia para preencher os 5 mm apicais foi similar à obturação com guta-percha e um cimento à base de óxido de zinco-eugenol⁵². O outro também não detectou diferenças no percentual de espaços vazios a 2, 4 e 6 mm apicais quando o compararam ao cimento AH-26 associado à guta-percha⁵³. Entretanto, quando comparado à associação cimento Epiphany e guta-percha, curiosamente, mostrou menor área média de espaços vazios nos níveis de 1 e 5 mm apicais, embora sem significância estatística⁵⁴.

A interface adesiva dos segmentos transversais dos três terços de canais radiculares obturados com o sistema Epiphany foi avaliada sob microscopia

eletrônica confocal a laser (10-40x). O terço apical apresentou o menor percentual e a menor profundidade de penetração de cimento⁵⁵.

Fortes evidências de que a qualidade do selamento apical promovido pelo sistema Epiphany não foi superior à do cimento AH Plus e guta-percha foram constatadas através de MEV e MET. Embora tenha sido observada camada híbrida com espessura de 1 - 2 μm em espécimes obturados com o sistema Epiphany, nenhum dos dois sistemas de obturação foi capaz de vedar de forma absoluta os 4 mm apicais. Nos dentes obturados com cones de guta-percha constataram a presença de fendas entre esses e o cimento, confirmando a ausência de união química entre esses materiais; enquanto naqueles obturados com cones de Resilon, as fendas foram observadas entre o cimento e a parede do canal, sugerindo que a contração de polimerização do cimento Epiphany estaria interferindo em sua adesão à dentina radicular⁵⁶. Isso poderia romper a integridade do selamento marginal apical^{57,58}.

Para melhor esclarecer esses resultados alguns estudos avaliaram a resistência de união (MPa) do cimento Epiphany e Resilon, bem como, da guta-percha e cimentos à base de resina epóxica (AH-26 ou AH Plus) à dentina radicular, utilizando o ensaio de *push out*⁵⁹⁻⁶¹. Todos esses estudos concluíram que os cimentos à base de resina epóxica e guta-percha mostraram maiores valores de resistência de união. Uma possível razão para isso poderia ser a baixa concentração de dimetacrilatos ou a ausência de radicais livres dentro da matriz polimerizada do Resilon para aderir ao cimento Epiphany⁵⁹. Outra possível explicação talvez seja a propriedade de compressibilidade da guta-percha, que a torna mais compactável que o Resilon, resistindo melhor, por isso, ao deslocamento⁶⁰. Essa fraca união

poderia ser atribuída aos espaços entre o cimento Epiphany e a dentina, resultante da incorporação de ar quando da aplicação do *primer* ou do cimento⁶¹.

Ainda na tentativa de esclarecer tais observações o ensaio de *micropush out* foi empregado para avaliar a resistência de união à dentina de alguns cimentos endodônticos em técnica de obturação com cone único. Os maiores valores (MPa) foram registrados para o AH Plus/guta-percha e os menores para o sistema Epiphany. Duas hipóteses poderiam explicar esses resultados além da reconhecida estabilidade dimensional do AH Plus a longo prazo, conferida pela baixa contração durante a polimerização e posterior expansão volumétrica⁶². A primeira seria a formação de união covalente entre o grupo epóxico do cimento AH Plus a algum grupo amina do colágeno dentinário exposto; e, a segunda, seria a formação de uma espessa camada de cimento resultante do uso da técnica do cone único, o que poderia interferir de forma negativa na adesão do Epiphany à dentina, dado o aumento da força de contração de polimerização desse cimento⁶³.

O *push out test* também foi utilizado para avaliar a influência do cone principal na resistência de união do cimento AH Plus ou de outros cimentos à base de metacrilatos à dentina radicular. Os valores de resistência de união foram na ordem de 2 a 8 vezes maior para os canais preenchidos apenas com cimento. O AH Plus resistiu melhor ao deslocamento⁶⁴.

Um outro estudo utilizou o ensaio de *micropush out* para avaliar a resistência de união à dentina radicular do Resilon/Epiphany e gutapercha associada a um cimento à base de óxido de zinco-eugenol. Foi observado maior valor de resistência de união para o sistema Epiphany. A luz da microscopia óptica constatou-se predominância de falhas adesivas na interface de união. Sob MEV observou-se

fendas na interface dentina/cimento no grupo do Resilon/Epiphany antes do teste, e túbulos dentinários totalmente vazios depois da realização do ensaio⁶⁵.

Algumas especulações têm sido feitas para explicar a presença de fendas na interface dentina radicular/cimento resinoso. A contração é inerente ao processo de polimerização de monômeros resinosos⁻⁶⁸ e pode ser considerada um fenômeno multifatorial⁶⁹⁻⁷¹. Nas obturações endodônticas esse fenômeno é particularmente agravado pela forma geométrica do canal e pela espessura do cimento, onde o fator de configuração da cavidade (fator-C) é altamente desfavorável para liberação da tensão de contração (fator-S)⁷² pela viscosidade do cimento resinoso^{70,73,74}.

Isso representa um grande problema para as propostas de obturações endodônticas que empregam a tecnologia adesiva. A força de contração de polimerização pode, via de regra, suplantar a resistência de união do cimento à dentina, e, inevitavelmente, levar à desadaptação de um lado da obturação para liberação da tensão. Para ratificar essas afirmações foi desenvolvido um modelo matemático com o objetivo de estimar a influência do fator-C e do fator-S durante a aplicação de cimentos adesivos em canais radiculares longos e estreitos. Concluiu-se que a interação entre esses dois fatores prediz que a adesão desses cimentos à dentina radicular é altamente desfavorável⁷².

Outros fatores que também poderiam influenciar a formação dessas fendas são: 1) as características estruturais do substrato, especificamente no terço apical, tais como a pouca densidade e pequeno diâmetro dos túbulos dentinários, além da intrínseca umidade dentinária⁷⁵⁻⁷⁷; 2) a acidez do *self-etch primer*^{37,78}; 3) a capacidade de molhamento^{47,79} e sistema de ativação do cimento^{80,81}.

Teoricamente a orientação perpendicular dos túbulos dentinários na dentina radicular proveria uma maior área de superfície de contato para os cimentos endodônticos e, conseqüentemente, um melhor selamento⁷⁵. Para confirmar a influência negativa da histomorfologia dentinária radicular à adesão dos cimentos resinosos comparou-se o aumento da área de superfície, após condicionamento ácido nos terços cervical, médio e apical, e, constatou-se que o menor aumento ocorreu no terço apical⁷⁶.

Os sistemas adesivos *etch-&rinse* desmineralizam e infiltram a dentina numa profundidade de 1,9 – 5,8 μm ^{82,83}, capaz de prover resistência de união à dentina⁸⁴ independente da concentração do ácido empregado⁸². O mecanismo de adesão à dentina dos adesivos *self-etch* de acidez forte é semelhante ao dos adesivos *etch-&rinse*³⁷. Entretanto, aqueles têm demonstrado baixos valores de resistência de união à dentina quando comparados a esses⁷⁸, possivelmente por utilizar a própria *smear layer* como substrato de adesão, o que tornaria a camada híbrida mais susceptível às forças de desadaptação e à degradação hidrolítica⁸⁵⁻⁸⁸.

A propriedade de escoamento do cimento reflete sua capacidade em penetrar nos túbulos dentinários, em pequenas irregularidades e ramificações do canal radicular, bem como nos canais acessórios, laterais e secundários. A capacidade de escoamento dos cimentos Epiphany e AH Plus foram comparadas utilizando-se como parâmetro as normas da Especificação nº 57 da ANSI/ADA (American National Standard/American Dental Association, 2000)⁸⁹. Os valores obtidos foram (35,74 e 38,57 mm)⁴⁷ e (36,00 e 43,00 mm)⁷⁹, respectivamente; os quais superaram o padrão exigido pela ANSI/ADA.

Os cimentos Epiphany e AH Plus preencheram satisfatoriamente canais laterais artificiais, com diâmetro de 0,1 mm, confeccionados nos terços médio e

apical de dentes humanos extraídos. Embora o resultado tenha sido estatisticamente igual para os dois cimentos, ambos não se mostraram capazes de impedir a infiltração de corante traçador. Uma provável explicação para o comportamento do cimento Epiphany poderia ser a incapacidade do *primer* em penetrar em toda a extensão dos canais laterais artificiais o suficiente para condicionar a dentina, dificultando a adesão entre o substrato e o cimento⁷⁹.

Outro aspecto a ser considerado diz respeito à reação de polimerização. Além disso, o Epiphany é um cimento de cura *dual*. Esse tipo de cimento foi desenvolvido para conciliar os benefícios da ativação química e da fotoativação, tais como o maior tempo de trabalho e capacidade de alcançar alto grau de conversão de monômeros na presença ou ausência de luz⁸¹. Portanto, é razoável afirmar que cimentos com alto grau de conversão tenham boas propriedades mecânicas. Acreditando nisso, os valores de microdureza têm sido utilizados como medida indireta do grau de conversão de compósitos sem carga⁸⁰. Parece que o grau de conversão de alguns compósitos e cimentos de cura *dual* são extremamente dependentes da fotoativação, e, quando na ausência dessa, a insuficiente polimerização obtida pela ativação química do sistema, conduziria a um comportamento clínico indesejável⁹⁰. Nem mesmo a última geração desses cimentos conseguiu superar tais inconvenientes⁹¹. Assim, acredita-se que o cimento Epiphany necessitaria de fotoativação em toda sua extensão para obter o máximo de conversão de monômeros⁷⁹.

Considerando o exposto nesta Revisão da Literatura parece-nos clara a necessidade de esclarecer o real potencial de selamento apical do sistema Epiphany, constituindo então, o objetivo dessa pesquisa uma contribuição para o estudo da tecnologia adesiva aplicada à Endodontia.

3 PROPOSIÇÃO

O objetivo deste estudo foi avaliar *in vitro* a eficácia do selamento apical e a micromorfologia da interface adesiva em obturações endodônticas com dois cimentos resinosos, valendo-se da infiltração passiva de um traçador químico e análise qualitativa em MEV e EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*). Adicionalmente, foram avaliadas as características físicas dos cimentos e resistência de união à dentina.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A referida pesquisa foi executada nos laboratórios dos Departamentos de Biomateriais e Bioquímica Oral e de Dentística da Faculdade de Odontologia da USP, no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) do Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo da Escola Politécnica da USP e no Centro Tecnológico de Radiação-Instituto de Pesquisa de Energia Nuclear (IPEN) do Ministério de Ciência e Tecnologia sob a forma de três estudos seqüenciais.

4.1 Preparo dos dentes

Após aprovação do protocolo de pesquisa, sob o nº 177/05, pelo Comitê de Ética em Pesquisa da FOUSP (ANEXO A) foram selecionados 72 dentes pré-molares inferiores do Banco de Dentes Humanos da FOUSP, extraídos por razões diversas, portadores de canal único e ápices completamente formados. Após remoção de material orgânico da superfície radicular foram acondicionados e submetidos a 18,5 KGy de radiação *gamacell* (Centro Tecnológico de Radiação-Instituto de Pesquisa de Energia Nuclear - IPEN, SP, Brasil) para o controle microbiológico.

Uma vez esterilizados, os dentes foram reidratados conforme o estudo⁹² que preconiza a imersão e manutenção dos dentes em solução fisiológica estéril (Cloreto de sódio 0,9%, Aster Produtos Médicos Ltda., Sorocaba, SP, Brasil) por 48 horas em

estufa a 37 °C. Para estabelecer o padrão de equilíbrio de hidratação foram mantidos em geladeira a 4 °C, com troca diária da solução até o momento de uso.

Foi realizado o preparo padrão das câmaras pulpare de todos os dentes. O comprimento real de trabalho (CRT) para cada dente foi determinado por meio da introdução de um instrumento endodôntico tipo K de nº 10 (Maillefer, Dentsply Ind. e Com. Ltda., Petrópolis, RJ, Brasil) dentro do canal radicular até que a ponta da lima fosse visualizada no forame apical, com o auxílio de uma lupa estereoscópica de 25x de aumento (Baush, Lomb, Rochester, USA), subtraindo-se 1 mm da medida obtida.

O preparo químico-cirúrgico foi realizado utilizando-se a técnica coroa-ápice⁹³, ou seja, penetração desinfetante sem pressão no sentido cérvico-apical, empregando-se o creme de Endo-PTC (Fórmula & Ação, São Paulo, SP, Brasil) reagindo com o hipoclorito de sódio (NaOCl 0,5%), como substâncias químicas auxiliares. A cada troca de instrumento foi feita irrigação-aspiração com 5 mL de NaOCl 0,5% seguida de nova reação do creme com o NaOCl 0,5%. O preparo do terço apical foi efetivado até o instrumento de nº 50 ou 55. A *smear layer* foi removida, inicialmente com irrigação-aspiração por 5 mL de NaOCl 0,5%, seguida da agitação desse produto por 3 a 5 minutos, com uma lima de fino calibre, e irrigando-se na seqüência com mais 5 mL da mesma solução. Seguiram-se as manobras de irrigação-aspiração com solução de EDTA-T 17% (Fórmula & Ação, São Paulo, SP, Brasil) da mesma forma descrita para a solução de NaOCl 0,5%, e, a fim de evitar que a liberação de oxigênio interferisse no processo de polimerização do cimento, realizou-se irrigação-aspiração final com 15 mL de solução fisiológica.

Concluída a irrigação final os canais radiculares foram preenchidos com solução fisiológica, e novamente, uma lima tipo K nº 10 foi inserida no canal até ultrapassar o forame em 3,0 mm. Então, foram realizados movimentos de rotação

removendo-se o eventual conteúdo remanescente na porção mais apical do canal. Essa manobra foi repetida com limas de calibre progressivo até a lima de nº 30, estabelecendo-se assim que o diâmetro na região de maior estrangulamento dentinário apical ficasse aproximadamente em 0,36 mm⁹².

Imediatamente, os canais radiculares foram aspirados em nível cervical, médio e apical com cânulas de sucção para remoção do conteúdo líquido, e secados com cones de papel absorvente (Maillefer, Dentsply Ind. e Com. Ltda., Petrópolis, RJ, Brasil).

As superfícies radiculares externas de todos os dentes foram secadas com folhas de papel filtro para posterior impermeabilização das mesmas. Para tanto um cone de guta-percha de nº 30 (Maillefer, Dentsply Ind. e Com. Ltda., Petrópolis, RJ, Brasil) previamente lubrificado com gel hidrossolúvel (Johnson & Johnson Com. e Dist. Ltda., São José dos Campos, SP, Brasil) foi inserido no canal radicular até que ultrapassasse o forame apical. A impermeabilização externa foi realizada com duas camadas de esmalte de unha de secagem ultra-rápida, a partir da periferia do cone de guta-percha por toda extensão radicular e coronária. Os canais radiculares foram então irrigados com cerca de 10 mL de solução fisiológica para eliminação completa do gel hidrossolúvel, e armazenados em frascos de vidro individuais, contendo a mesma solução, por 48 horas em estufa a 37 °C a fim de manter o padrão de hidratação.

4.2 Estudo 1: Infiltração apical do AgNO₃ e formação de fendas apicais

4.2.1 Obturação dos canais radiculares

Para esse estudo foram selecionados aleatoriamente 33 dentes, divididos em três grupos (Figura 4.1). Os cimentos endodônticos foram manipulados de acordo com as instruções dos fabricantes (Tabela 4. 1).

Os canais radiculares foram obturados por um único operador utilizando-se a técnica da condensação lateral complementada com a condensação vertical a frio, conforme descrito abaixo:

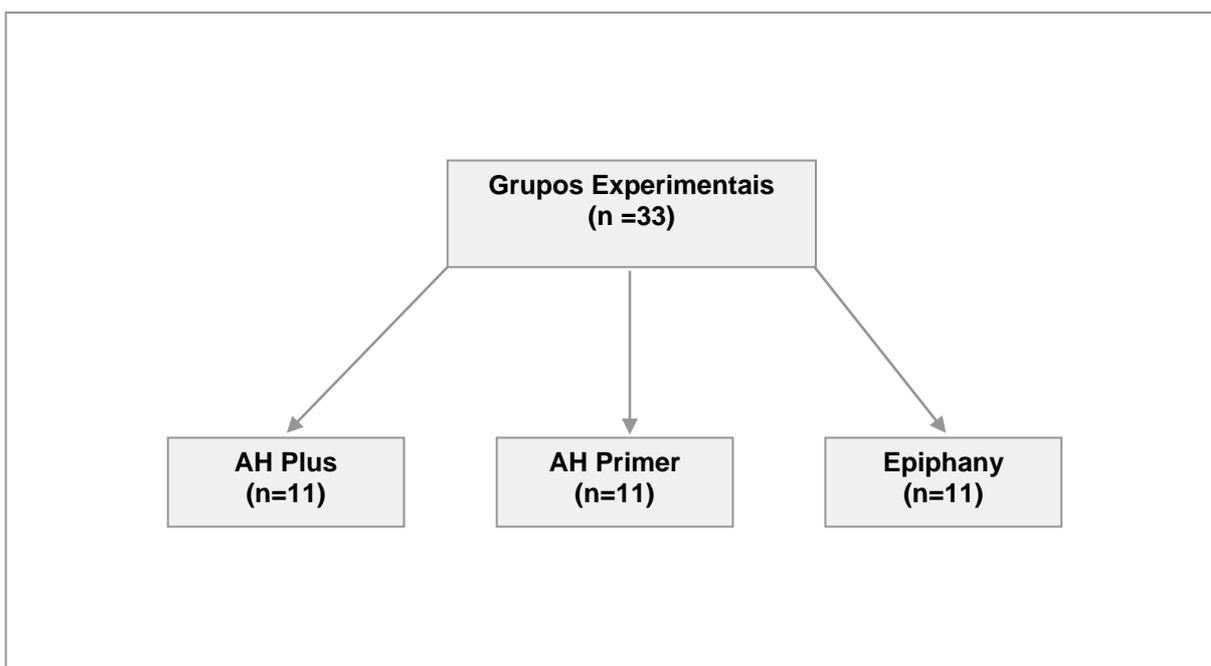


Figura 4.1-Delineamento experimental – AH Plus: AH Plus+guta-percha; AH Primer: Epiphany primer+AH Plus+guta-percha; Epiphany: sistema Epiphany

AH Plus (n = 11): Os canais radiculares foram obturados com cones de gutta-percha e cimento AH Plus® (Dentsply Ind. e Com. Ltda., Petrópolis, RJ, Brasil). A adaptação do cone principal foi aferida por meio dos testes visual, tátil e radiográfico⁹⁴. Após isso, o cone mestre foi recoberto por uma camada de cimento e levado ao canal radicular até o CRT, pincelando-o em todas as paredes do canal, de apical para

cervical. Em seguida foi introduzido um espaçador digital B (Maillefer, Dentsply Ind. e Com. Ltda., Petrópolis, RJ, Brasil) entre o cone e a parede dentinária até cerca de 1 mm aquém do CRT, e, na seqüência, procedeu-se à colocação de tantos cones acessórios quantos foram necessários para a obturação dos 5 mm apicais. O excesso dos cones de guta-percha foram cortados aproximadamente 2 mm abaixo da junção cimento-esmalte utilizando-se para esse fim condensadores tipo Paiva aquecidos. Finalizando, foi aplicada leve condensação vertical a frio com um condensador compatível com o diâmetro cervical do canal seguida da limpeza da câmara pulpar com álcool etílico a 70%.

AH Primer (n = 11): Os canais radiculares foram obturados com cones de guta-percha e cimento AH Plus[®] conforme descrito para o grupo AH Plus, após condicionamento dentinário pelo Epiphany[®] primer (Pentron Clinical Technologies, SybronEndo, Wallingford, CT, EUA) (Tabela 4. 1 d).

Epiphany (n = 11): Os canais radiculares foram obturados com cones sintéticos de polímero de poliéster (Resilon Research LLC, Madison, CT, EUA), Epiphany[®] primer e cimento Epiphany[®] (Pentron Clinical Technologies, SybronEndo, Wallingford, CT, EUA) de acordo com o grupo AH Plus e instruções descritas na Tabela 4. 1 d,e,f. Após o corte cervical da obturação endodôntica e subsequente condensação vertical à frio, a superfície do *monobloco de resina* foi fotoativada durante 40 segundos com aparelho Jet Lite modelo 4000 Plus (J. Morita Inc. Irvine, CA, EUA) com intensidade de 600 mW/cm² aferida em radiômetro (24 J/cm²). O propósito desse procedimento, seguindo as recomendações do fabricante, foi promover um imediato selamento coronário de aproximadamente 2 a 3 mm de profundidade.

Tabela 4. 1 - Fabricante, lote, instruções de uso e composição dos cimentos testados

Cimentos	Fabricante	Instruções	Composição
(Lote)			
AH Plus® (0602000496)	Dentsply Ind. e Com. Ltda., Brasil	a, b, c	Pasta A: Resina epóxica, tungstato de cálcio, óxido de zircônio, sílica, pigmentos de óxido de ferro. Pasta B: Aminas, tungstato de cálcio, óxido de zircônio, sílica, óleo de silicone, UDMA.
Epiphany® (143271/ 147897)	Pentron Clinical Technologies, Wallingford, CT, EUA	d, e, b, c	Epiphany sealer: BisGMA,UDMA, PEGDMA, EBPADMA, partículas de carga de sulfato de bário, vidro tratado com silano, sílica, hidróxido de cálcio, bismuto, óxido de alumínio aminas, peróxido, fotoiniciador, estabilizadores e pigmentos. Epiphany primer: HEMA, AMPS, água e canforquinona. Resilon: polímero de poliéster, vidro bioativo, óxido de bismuto, sulfato de bário, dimetacrilatos bifuncionais e pigmentos.

a) misturou-se partes iguais das pastas A e B sobre bloco de papel até obter-se consistência homogênea; b) com o auxílio do cone principal aplicou-se uma fina camada do cimento, pincelando-o, nas paredes do canal, em movimentos de vai-e-vem; c) estabilizou-se o cone principal no CRT e procedeu-se à técnica de obturação; d) realizou-se o condicionamento dentinário com um cone de papel absorvente, de diâmetro igual ao IAF (Instrumento Apical Final) umedecido com o Epiphany *primer* e levado ao interior do canal, esfregando-o às paredes dentinárias por 30 segundos; removeu-se o excesso com cones de papel absorvente de diâmetro igual ao IAF; e) uma pequena quantidade da base e catalisador acondicionados em seringa *auto-mix* foi dispensada sobre uma placa de vidro e espatulada de acordo com as recomendações do fabricante

Após a obturação dos canais radiculares, os espécimes foram implantados em espuma floral (Oásis S.A., São Bernardo do Campo, SP, Brasil) umedecida com água, para manter a hidratação. Foram armazenados em câmara a vácuo a 37 °C e 100% de umidade relativa por 3 dias, para que os cimentos endodônticos tomassem presa.

4.2.2 Infiltração do traçador químico

Os espécimes foram imersos em solução aquosa de nitrato de prata (AgNO_3) a 50% (peso/volume)⁹⁵ acondicionada em frascos de plástico escuro, durante um período de 24 horas a 37 °C. A solução foi preparada no momento de uso, na proporção de 1:2, sal de AgNO_3 (Synth, Labsynth, Diadema, SP, Brasil): água deionizada ($\text{pH} \cong 6,7$), ajustada em $\text{pH} 7,0$. A seguir, foram lavados em água corrente para remoção do excesso do AgNO_3 e imersos em substância reveladora (Kodak do Brasil Ltda., São José dos Campos, SP, Brasil), por 8 horas a temperatura ambiente sob luz fluorescente⁷². Decorrido esse tempo, foram lavados em água corrente para a completa remoção de traços da substância reveladora e secados a temperatura ambiente.

4.2.3 Preparo das amostras para análise da infiltração do AgNO_3 por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e confirmação por *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS)

A efetividade do selamento apical dos cimentos resinosos testados, após infiltração com AgNO_3 , foi avaliada através de MEV e EDS (Figura 4. 3). Os espécimes foram embutidos em resina epóxica (Epon-Thin™, Buheler Ltd., Illinois, EUA), e após sua polimerização (cerca de 18 h) foram seccionados longitudinalmente, no sentido méso-distal (Figura 4.2 A), utilizando-se a máquina para corte de tecido duro Isomet 1000 Precision Saw (Buehler) de forma que expusesse a superfície do material obturador endodôntico. As interfaces foram

condicionadas com solução de ácido fosfórico a 35% por 5 segundos e a seguir foram lavados com H₂O destilada.

Os espécimes embutidos foram fixados em solução de glutaraldeído 2,5%, paraformaldeído a 2% em cacodilato sódico 0,1 M tamponada em pH 7,4⁹⁶ por 72 horas a 4 °C⁹⁷. Decorrido esse tempo, foram lavados com cacodilato sódico 0,2 M tamponado a pH 7,4 (três banhos de 20 minutos cada), e, a seguir, desidratados em escala de concentração ascendente de etanol (20 minutos a 25%, a 50%, a 75%; 30 minutos a 95% e 60 minutos a 100%), e secagem química final pela imersão em HMDS (Hexamethyldisilazane, Sigma-Aldrich Inc., St. Louis, EUA) por 10 minutos de

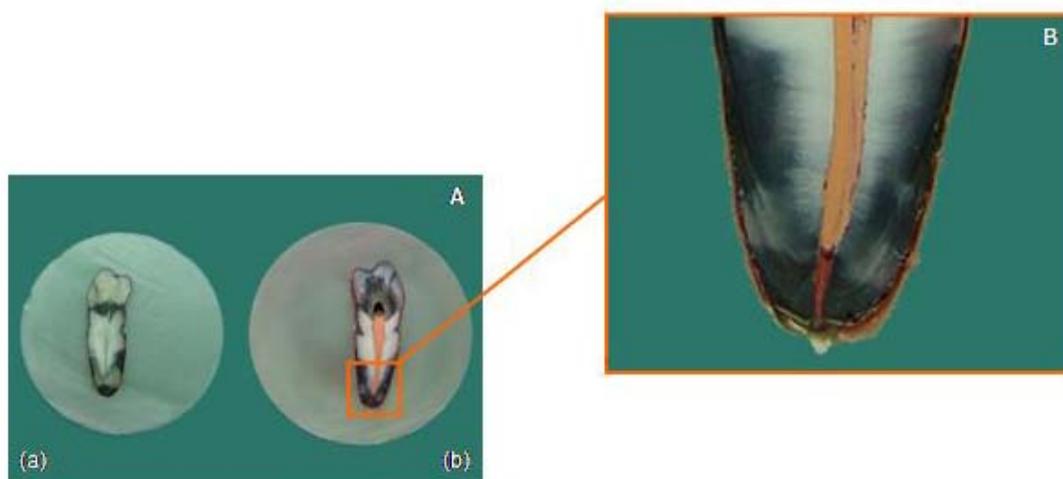


Figura 4.2 - Preparo dos espécimes para MEV. (A) - Seccionamento longitudinal: (a) hemiparte menor; (b) hemiparte maior com o material obturador exposto, no detalhe a área de interesse. (B) – Em destaque os 5 mm apicais

acordo com o protocolo Perdigão⁹⁸ e secados a temperatura ambiente no interior de uma capela de exaustão. Após secagem os espécimes foram armazenadas em dessecador com sílica até o momento que foram recobertos com uma camada de aproximadamente 30 nm de Carbono (Baltec, Sput Coater, SCD 050, Alemanha) para observação da infiltração do nitrato de prata nos 5 mm apicais (Figura 4.2 B), com elétrons retroespalhados, em Microscópio Eletrônico de Varredura LEO 440

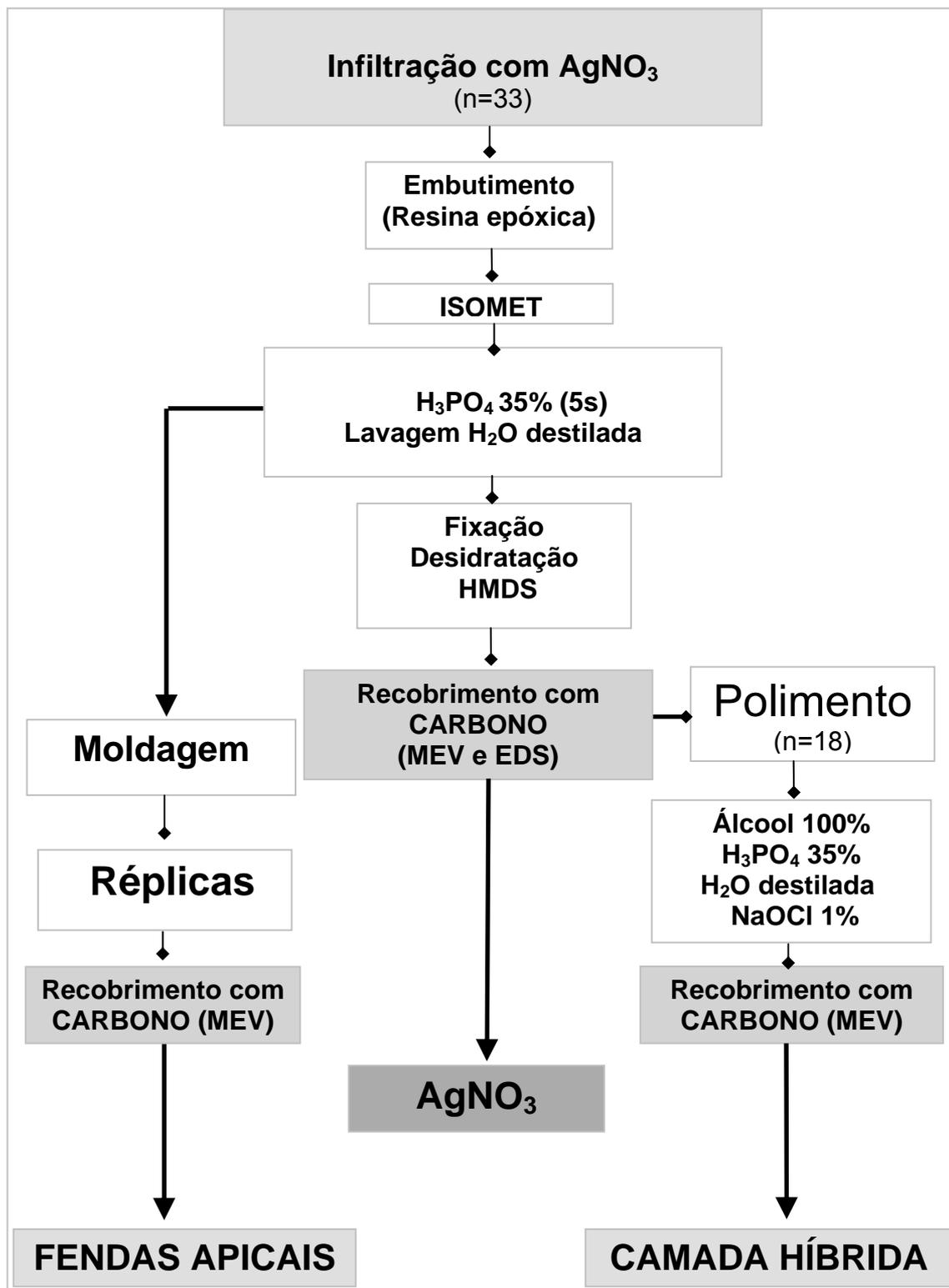


Figura 4. 3 - Delineamento experimental para os estudos da infiltração apical do AgNO_3 , formação de fendas apicais nas interfaces dentina-cimento-cone obturador e mecanismo de união entre dentina e cimento

(LEO Electron Microscopy Ltd, Cambridge, Inglaterra) sob condições de alto vácuo e pressão de 10^{-6} torr.

Foram realizadas micrografias padronizadas em 20x dos 5 mm apicais da obturação do canal radicular, divididos em 5 regiões de 1 mm (Figura 4.4 A), e de

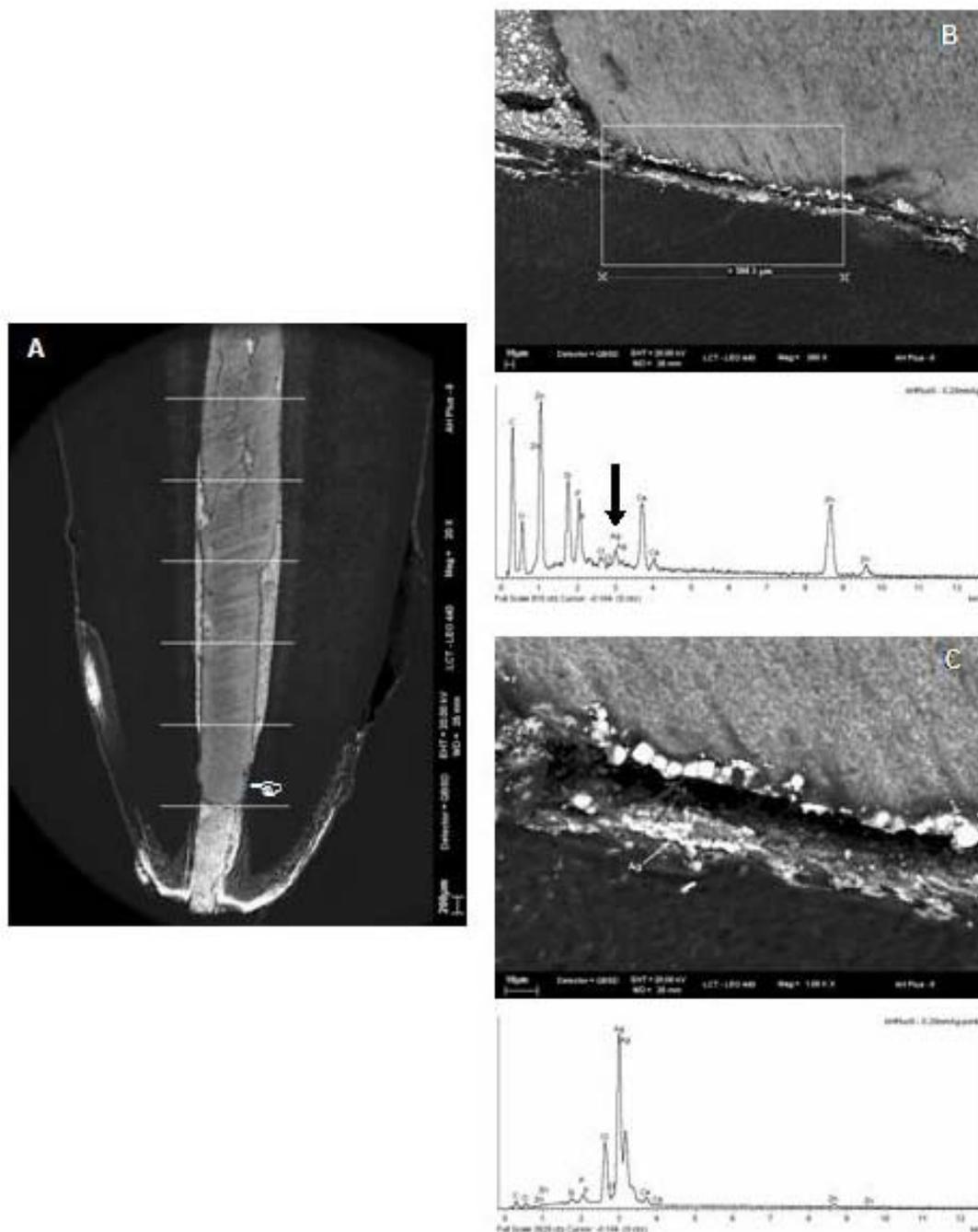


Figura 4.4 - MEV e EDS da infiltração do AgNO_3 na interface dentina-material obturador: (A) – Micrografia dos 5 mm apicais da obturação do canal radicular (20x) divididos em áreas de 1 mm. Indicação do local em que a Ag foi detectada (*pointer*); (B) – Micrografia (250x) e EDS por área demonstrando a existência de Ag no espectro (seta) e (C) – Micrografia (500x) e EDS pontual confirmando o local exato em que a Ag foi depositada

250x e 500x das áreas nas quais foi identificada a infiltração do AgNO₃ (Figura 4.4 B e C).

A confirmação da penetração da prata foi realizada por EDS em duas etapas: (I) Inicialmente, o EDS por área de aproximadamente 30.000 μm², e, quando detectada a prata seguia-se (II) a complementação com EDS pontual para localizá-la: se entre a dentina e o cimento ou entre o cimento e o cone obturador como mostra a Figura 4.4 B e C.

Os dados obtidos foram registrados utilizando-se os escores: 0 – para ausência de infiltração e 1 – para presença de infiltração.

4.2.4 Preparo das réplicas para análise da formação de fendas apicais nas interfaces dentina/cimento e cimento/cone obturador

Para controlar os possíveis artefatos oriundos da preparação das amostras para MEV, as réplicas foram confeccionadas logo após a secção na máquina de corte Isomet Precision Saw (Buehler), a fim de investigar a formação de fendas nas interfaces dentina/cimento e cimento/cone obturador. Foram confeccionadas réplicas de cada espécime imediatamente após condicionamento das interfaces dentina/cimento/cone obturador com ácido fosfórico 35% por 5 segundos e lavagem com água destilada. Os espécimes foram moldados com silicone de adição de baixa consistência (Aquasil™, ULV, Dentsply De Trey, Alemanha), e vazados com resina epóxica (Epon-Thin™, Buheler Ltd.) (Figura 4.5 A e B). Após a polimerização da resina (cerca de 18 h), as réplicas foram recobertas com uma camada de

aproximadamente 30 nm de Carbono (Figura 4. 3) permitindo assim serem observadas no MEV com elétrons secundários. Os 5 mm apicais da obturação do canal radicular foram divididos em 5 regiões de 1 mm, como mostra a Figura 4.6 A, onde foi investigada a presença de fendas, e, quando identificadas foram realizadas micrografias padronizadas em aumento de 500x.

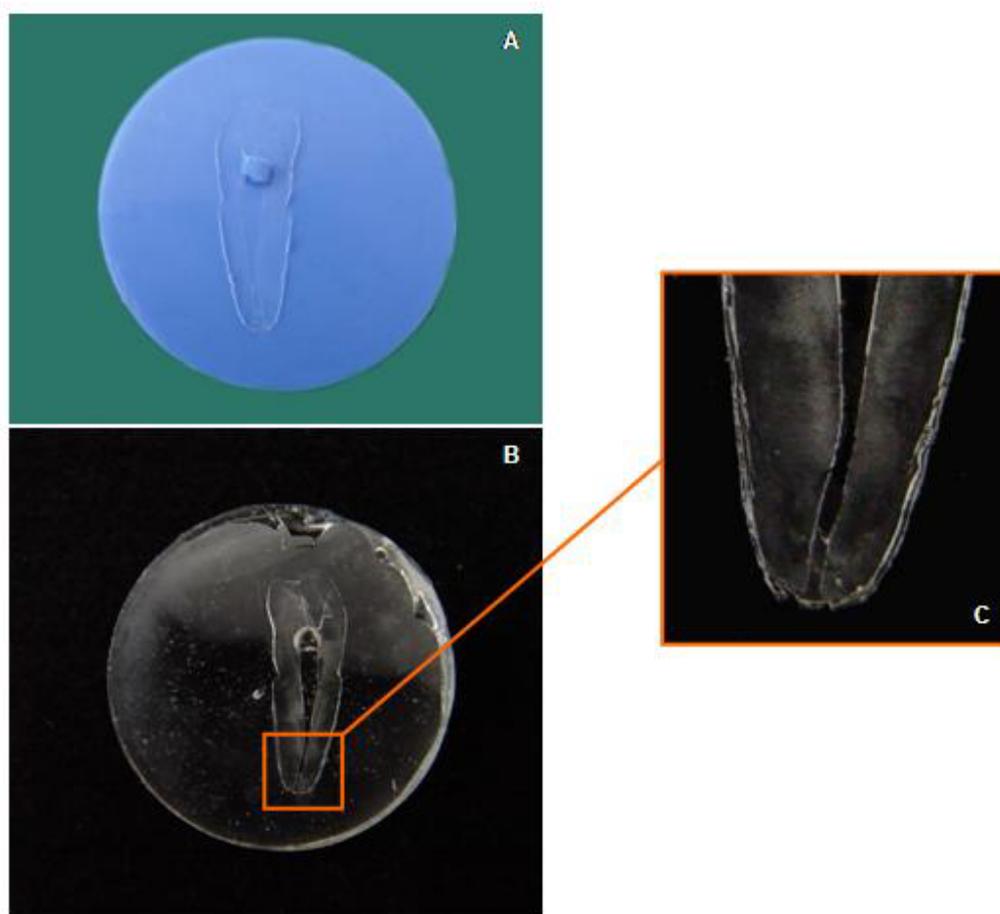


Figura 4.5 -Preparo das réplicas para MEV. (A) - Moldagem em silicone de adição. (B) - Réplica em resina epóxica, no detalhe a área de interesse. (C) - Em destaque os 5 mm apicais

As fendas encontradas nas réplicas foram avaliadas qualitativamente quanto à localização da interface rompida, de acordo com os seguintes escores: 0 - para ausência de fendas; 1 - para fendas entre a dentina e o cimento; 2 - para fendas entre o cimento e o cone obturador; e 3 - para a presença dos dois tipos de fendas, no mesmo milímetro (Figura 4.6 B, C e D).

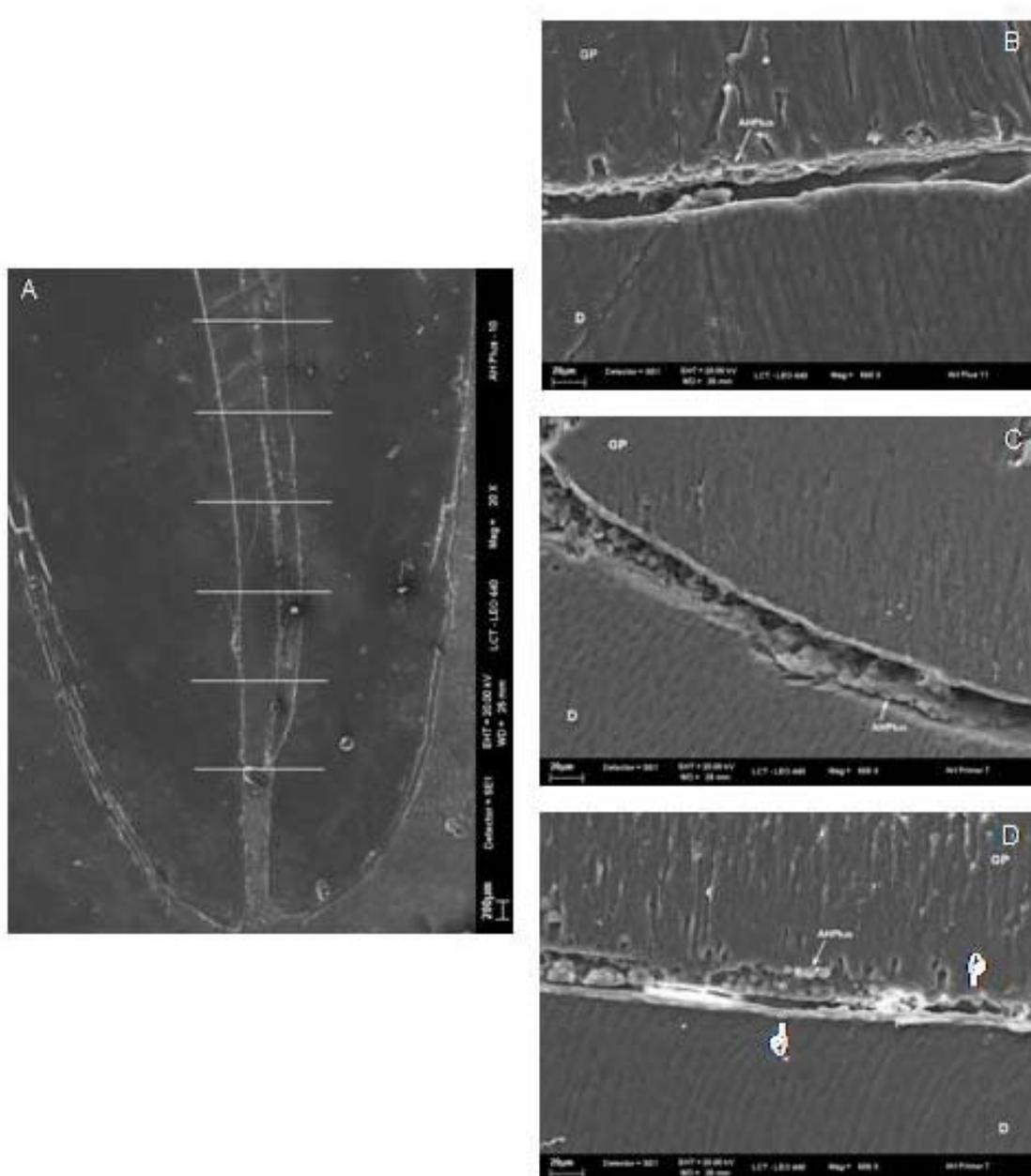


Figura 4.6 - Micrografias das réplicas: (A) – 5 mm apicais da obturação do canal radicular (20x). Classificação dos tipos de fendas: (B) – Tipo 1: entre a dentina e o cimento; (C) – Tipo 2: entre o cimento e o cone obturador e (D) – Tipo 3: os dois tipos no mesmo milímetro. GP – Guta-percha; D – Dentina; *Pointer* superior indica fenda Tipo 1; *Pointer* inferior indica fenda Tipo 2

4.3 Estudo 2: Micromorfologia da interface dentina/cimentos resinosos

4.3.1 Padrão de condicionamento

Três dentes já submetidos ao PQC e protocolo de remoção da *smear layer* com EDTA-T 17% tiveram suas coroas dentárias removidas na junção amelo-cementária. Uma das raízes foi seccionada longitudinalmente no sentido mésio-distal (Isomet 1000 Precision Saw), ficando a superfície dentinária e a própria luz do canal expostas (Figura 4.8), aspecto da análise que foi denominado *superfície*.

Após banho de ultra-som em água deionizada por um período de 5 minutos, uma das hemipartes foi utilizada para avaliar a remoção da *smear layer* com EDTA-T 17%, portanto recebeu o protocolo de preparo para MEV (Figura 4.7). A outra hemiparte foi utilizada para avaliação do padrão de condicionamento com o Epiphany *primer*. Para tanto, foi efetuada a secagem da superfície da metade do canal radicular com ponta de papel absorvente e aplicação do Epiphany *primer* como descrito na Tabela 4. 1 d. Em seguida, procedeu-se à seqüência de lavagens para remoção do *primer* com acetona P.A. (5 minutos); água deionizada (5 minutos); etanol 96% (5 minutos) e água deionizada (5 minutos) seguido do preparo para MEV (Figura 4.7), a fim de se avaliar as 5 áreas correspondentes a cada um dos 5 mm apicais (Figura 4.8)⁹⁹.

Os canais radiculares das outras duas raízes também foram preparados para avaliação do padrão de condicionamento; em ambos foi empregado o protocolo de remoção da *smear layer* com EDTA-T 17% e, apenas em um, o de condicionamento com o Epiphany *primer*, conforme já descrito acima. Na seqüência, foi realizado um sulco transversal em cada uma das raízes na altura do 4^o milímetro apical com disco diamantado (K.G. Sorensen Ind. e Com. Ltda., Barueri, SP, Brasil), e, a seguir, foram

clivados. Os dois segmentos radiculares de cada raiz receberam o protocolo de preparo para MEV^{96,98} (Figura 4.7), com o objetivo de analisar a remoção da *smear layer*, e o padrão de condicionamento através da mensuração da profundidade de desmineralização dentinária, aspecto da análise que foi denominado *perfil*.

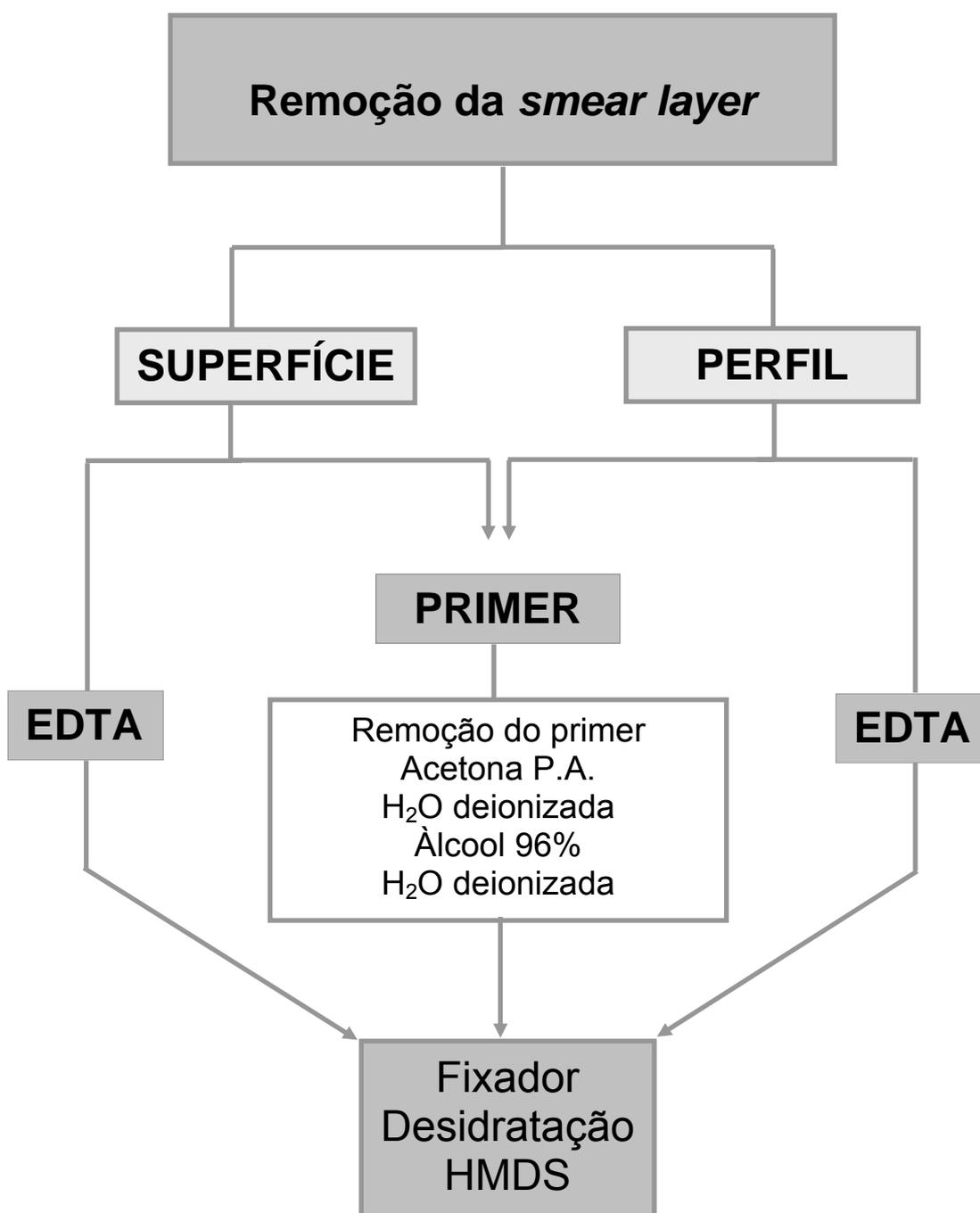


Figura 4.7 - Protocolo de preparo das amostras para avaliação do padrão de condicionamento

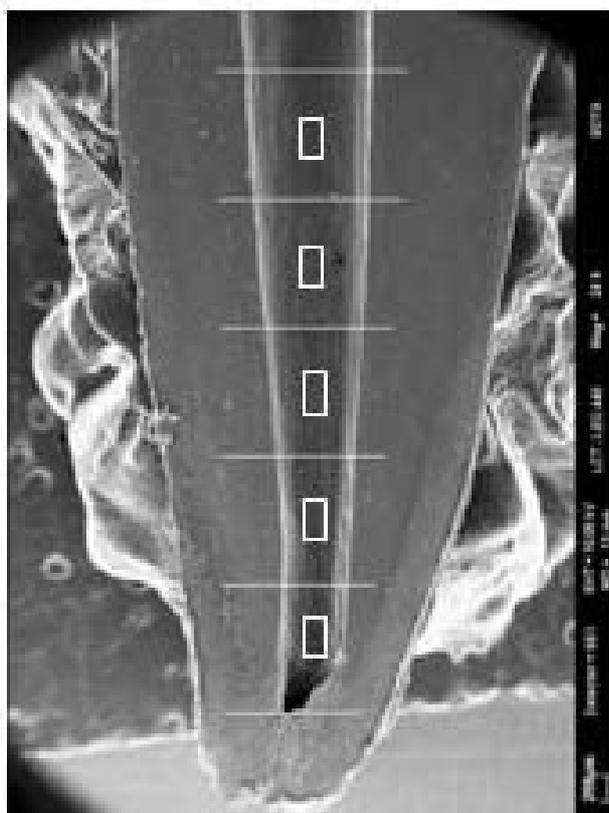


Figura 4.8 - Representação das áreas selecionadas em cada um dos 5 mm apicais

Todos os espécimes receberam recobrimento de platina (Baltec, Coating System, MED 020, Alemanha) com espessura aproximada de 15 nm, para serem observadas com elétrons secundários.

4.3.2 Formação de prolongamentos de cimentos resinosos (*tags* e *plugs* apicais)

Para avaliação da formação de *tags* apicais foram selecionados 3 dentes já submetidos ao PQC, os quais tiveram suas coroas dentárias removidas na junção amelo-cementária. As raízes foram obturadas com as mesmas propostas de

material, forma de acondicionamento e tempo de armazenagem utilizados no Estudo 1. As raízes foram imersas em ácido clorídrico (HCl) 6N a temperatura ambiente durante 12 h (com 2 trocas da solução) para o AH Plus e 18 h (com 3 trocas da solução) para o Epiphany. Após a dissolução das raízes, o material obturador foi imerso em água deionizada por dois tempos de 5 minutos cada, desproteinizados em NaOCl 1% por 10 minutos, e, outra vez imersos em água deionizada por mais dois tempos de 5 minutos cada, conforme protocolo Perdigão⁹⁶.

Os espécimes preparados foram recobertos com platina numa espessura aproximada de 15 nm para que fossem observados os *tags* nos 5 mm apicais por meio de elétrons secundários.

4.3.3 Mecanismo de união na interface dentina-cimento

Foram selecionados aleatoriamente 6 espécimes de cada grupo experimental do Estudo 1, os quais foram polidos em politriz automática (AutoMet 2000 Power Heads, Buehler) utilizando-se lixas 800 e 1200 (Microcut[®], silicon carbide, Buehler). Após cada lixa, foi feito um banho em ultra-som com água destilada durante 5 minutos, para evitar a contaminação das amostras com as diferentes granulações do abrasivo. Em seguida foi realizado o polimento com discos de feltro (Microcloth psa, Buehler) e pasta de diamante de granulometria de 3, 1 e ¼ de microns (Diamond polishing compound Metadi II[®], Buehler). Após o uso de cada pasta, foi realizado banho em ultra-som com água destilada por 5 minutos, evitando assim contaminar os discos de feltro com pastas de diamante de granulações de tamanhos diferentes.

A lavagem final para remoção dos abrasivos remanescentes foi realizada com três banhos subseqüentes, dois de água destilada em ultra-som por 5 minutos cada; e um terceiro de etanol 100% em ultra-som, também por 5 minutos⁹⁶. As amostras foram condicionadas com solução de ácido fosfórico a 35% por 5 segundos; lavadas em água destilada e imersas em solução de hipoclorito de sódio a 1% por 10 minutos⁹⁸; e, outra vez, lavadas em água destilada e secadas com jato de ar. As amostras foram acondicionadas em dessecador com sílica até serem recobertas com uma camada de aproximadamente 30 nm de Carbono para se observar em MEV a morfologia do mecanismo de união dos cimentos resinosos à dentina radicular, com elétrons secundários.

4.4 Estudo 3: Fatores relacionados à formação de fendas apicais

4.4.1 Características físicas dos cimentos

4.4.1.1 teste de escoamento

A viscosidade dos cimentos foi estimada através do teste de escoamento realizado de acordo com a Especificação nº 57 da ADA para materiais obturadores endodônticos (ANSI/ADA 2000). Um volume de 50 µL de cimento, manipulado de acordo com as recomendações do fabricante, foi colocado sobre uma placa de vidro (40 x 40 x 5 mm) utilizando-se uma seringa hipodérmica descartável de 1,0 mL

(Figura 4.9 A e B). Após 3 minutos do início da espatulação do cimento, outra placa de vidro foi colocada cuidadosamente sobre o material. O conjunto foi mantido sob carga de 20 N por 7 minutos (Figura 4.9 C). Removida a carga, o diâmetro do círculo resultante do escoamento do material foi mensurado, em milímetros, em duas direções perpendiculares entre si, com o auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm (Mitutoyo MTI Corporation, Tokyo, Japão), obtendo-se o diâmetro médio do círculo (Figura 4.9 D). Cinco repetições foram realizadas para cada um dos cimentos.

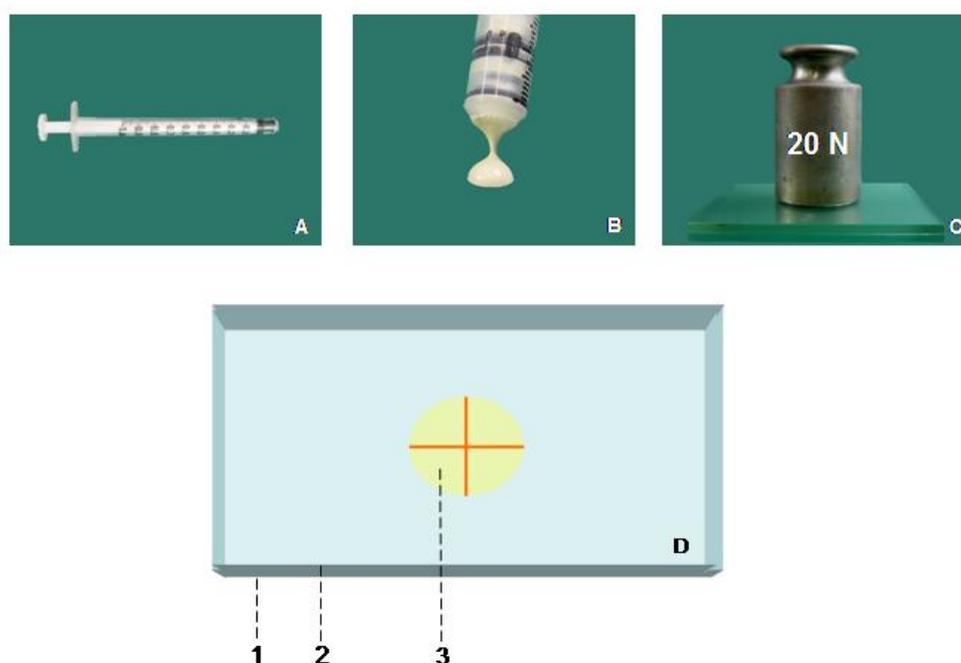


Figura 4.9 - (A) – Seringa preparada para receber o material; (B) – Deposição do material sobre a placa de vidro; (C) – Colocação da carga de 20 N sobre a massa do cimento; (D) – Desenho esquemático do teste de escoamento (1: placa de vidro inferior; 2: placa de vidro superior; 3: círculo formado pela massa do cimento após seu escoamento)

4.4.1.2 *ensaio de tensão de polimerização*

O ensaio de tensão de polimerização foi realizado utilizando-se dois cilindros de vidro de silicato de boro (Pyrex[®]), com 5 mm de diâmetro e 13 ou 28 mm de comprimento, como substratos para colagem dos cimentos. Para permitir a passagem da maior irradiância possível durante a fotoativação uma das bases do bastão menor permaneceu polida (aspecto resultante do procedimento de corte dos bastões). As superfícies de colagem dos bastões foram asperizadas com lixa de granulação 180 e jateadas com óxido de alumínio (150-250 µm) sob pressão de 40 psi. Posteriormente, foram tratadas com agente silano (RelyX Ceramic primer S, 3M ESPE Dental Products, St Paul, EUA), seguida pela aplicação de uma resina sem carga (Adper[™] Scotchbond[™] Multi-Purpose Adhesive, frasco 3, 3M ESPE) e fotoativação com dose de 12 J/cm² (300 mW/cm² x 40s) (Figura 4.10 A, B, C e D).

Foram testadas três condições experimentais: AH Plus, Epiphany-SC (quimicamente ativado) e Epiphany-F (fotoativado). O ensaio de tensão de polimerização foi realizado em uma máquina universal de ensaios mecânicos (Instron 5565, Canton, Massachusetts, EUA). O bastão maior foi preso à garra superior e o menor foi fixado a um dispositivo de aço inox que permitia o posicionamento da ponta do fotopolimerizador em contato com sua base. Esse dispositivo foi preso à garra inferior da máquina (Figura 4.10 E e F). A distância entre as superfícies tratadas foi ajustada em 1 mm para que um volume aproximado de 19,6 mm³ de cimento fosse inserido entre elas. Um extensômetro (modelo 2630-101, Instron) foi acoplado aos bastões de forma a manter essa distância constante no decorrer do ensaio, com precisão de 0,1 µm. Os cimentos foram manipulados de acordo com as instruções dos fabricantes, e inseridos no espaço entre as superfícies dos bastões. O ensaio foi iniciado decorrido 3 minutos após o início da espatulação.

Esse sistema foi mantido à temperatura de 37 °C e a força gerada pela contração de polimerização foi monitorada por 60 minutos.

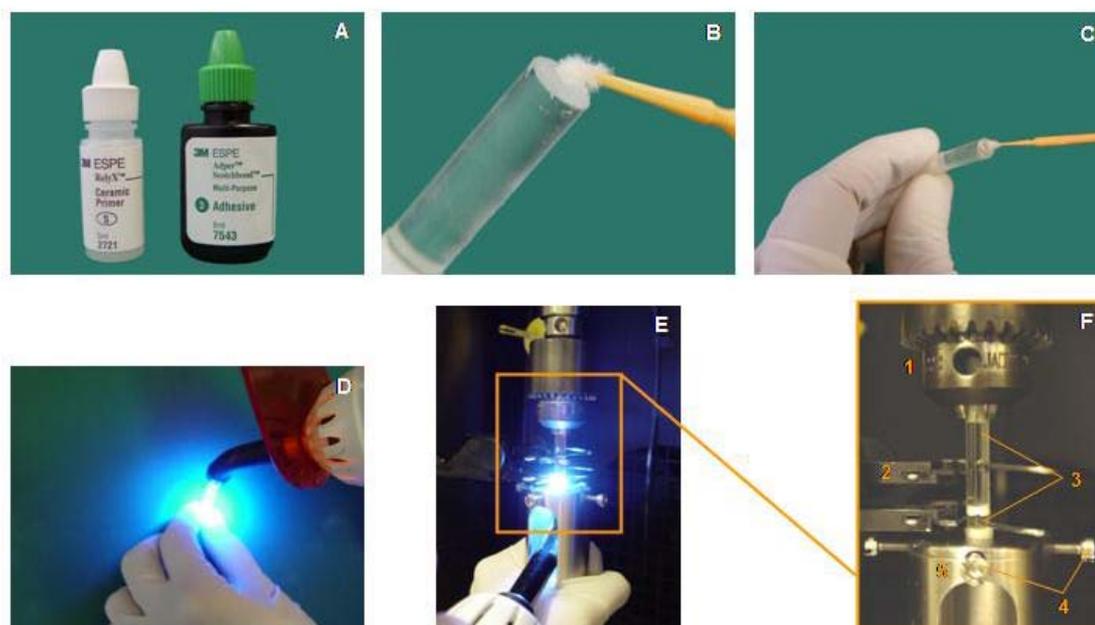


Figura 4.10 - (A) - Materiais utilizados no tratamento das superfícies asperizadas dos substratos de colagem dos cimentos; (B) – Aplicação do silano; (C e D) – Aplicação e fotoativação do adesivo; (E) - Sistema de teste e fotoativação do cimento Epiphany-F; (F) - Montagem do sistema: (1) - Garra da máquina ligada à célula de carga onde o bastão de vidro maior foi fixado; (2) - Extensômetro; (3) - Bastões de vidro; (4) – Parafusos utilizados para fixação do bastão de vidro menor; (5) - Dispositivo metálico para entrada da ponta do fotopolimerizador

Para o Epiphany-F, 17 minutos após o início do teste, a ponta de um aparelho fotopolimerizador (VIP Júnior, BISCO, Schaumburg, IL, EUA) foi posicionada em contato com a extremidade polida do bastão menor e foi fornecida uma dose de 24 J/cm² (475 mW/cm² x 51s), seguindo-se a recomendação do fabricante (Figura 4.10 E). O desenvolvimento da força foi monitorado durante 43 minutos a partir do início da fotoativação.

Para cada condição experimental foram testados 3 corpos-de-prova (cps). Os dados foram coletados pela máquina de ensaios a cada segundo. Para calcular a tensão nominal máxima gerada durante a contração de polimerização dos cimentos

para cada cp (MPa), a força máxima (N) foi dividida pela área da secção transversal do bastão de vidro ($\pi R^2 = 19,625 \text{ mm}^2$).

4.4.1.3 *ensaio de microdureza*

Três pré-molares inferiores com 25 mm de comprimento foram incluídos em resina de poliéster para posteriores cortes transversais, de acordo com uma metodologia de estudo da morfologia do canal radicular¹⁰⁰.

Esse sistema de cortes transversais consiste em um bloco de resina de poliéster contendo o dente e duas guias metálicas cilíndricas posicionadas próximas às suas faces proximais, em posições diametralmente opostas (Figura 4.11 A). A finalidade dessas guias é remontar o espécime, após seccionamento transversal e realização de qualquer tipo de procedimento nos segmentos obtidos, para posterior avaliação (Figura 4.11 C).

Os canais radiculares foram preparados até o instrumento de nº 55. Os blocos de resina foram seccionados em 5 fatias de 2,0 mm de espessura, a partir de 2,0 mm abaixo da junção amelo-cementária até 2,0 mm aquém do ápice radicular (Figura 4.11 B), utilizando-se um disco diamantado de espessura de 0,4 mm (Extec Corp., Enfield, CT, EUA). Foram identificadas na ordem crescente, de cervical para apical.



Figura 4.11 - (A) - Pré-molar inferior embutido em resina de poliéster; (B) – Bloco de resina seccionado em fatias de 2.0 mm de espessura; (C) – Fatias remontadas após confecção dos cps e fotoativação do cimento

A dentina radicular dos segmentos do canal de cada espécime foi condicionada com o Epiphany *primer* por 30 segundos. Sobre uma placa de vidro foram dispostas matrizes de poliéster de diâmetros compatíveis com cada fatia radicular; sobre as quais foram posicionadas as bases das fatias para que o segmento radicular fosse preenchido com o cimento Epiphany. Sobre o topo de cada fatia foi colocada outra matriz e com uma placa de vidro foi levemente pressionada para escoar o excesso do material e deixar a superfície do corpo-de-prova plana e lisa.

Isso feito, os espécimes foram remontados com o auxílio das guias metálicas. Em seguida foi realizada a fotoativação do cimento por 40 segundos com aparelho Jet Lite modelo 4000 Plus (J. Morita Inc. Irvine-CA, EUA) com irradiância de $600\text{mW}/\text{cm}^2$, aferida em radiômetro (dose de energia total: $24\text{ J}/\text{cm}^2$), simulando as

condições clínicas (Figura 4.11 C). Os espécimes foram armazenados em câmara a vácuo a 37 °C e 100% de umidade relativa por 72 horas.

A microdureza Knoop (KHN) foi medida utilizando-se uma carga de 25gf por 20 segundos em microdurômetro (Shimadzu, modelo HMV – 2T, Kioto, Japão) com *software* C.A.M.S. Win versão 5.0. Cinco endentações foram feitas, com distância entre as marcas de aproximadamente 0,2 mm (Figura 4.12), para o topo de todas as fatias e apenas para a base da fatia 5, a fim de se determinar a KHN nas 5 diferentes profundidades no sentido cérvico-apical.

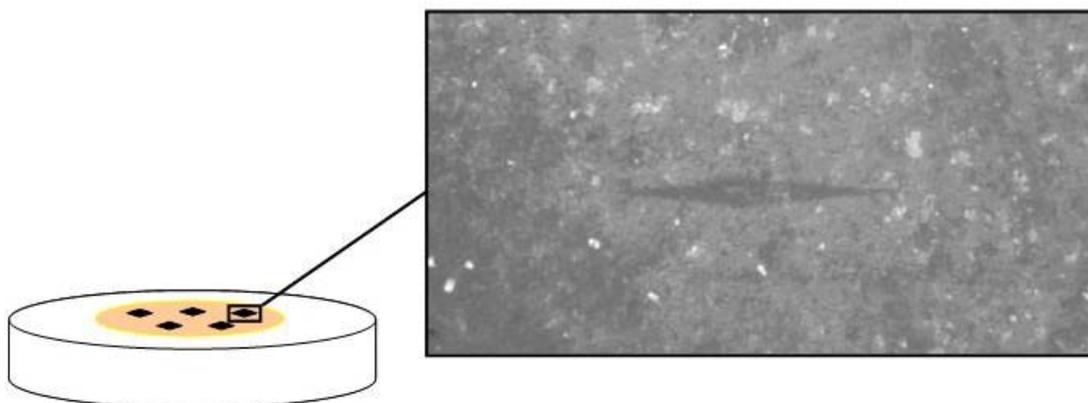


Figura 4.12 - Esquema demonstrativo do corpo-de-prova para análise da microdureza. No detalhe, uma endentação feita com o penetrador Knoop

4.4.2 Resistência de união à dentina

Trinta pré-molares inferiores foram preparados até o instrumento de nº 55, e mantidos em geladeira a 4° C até o momento de uso. Foram divididos aleatoriamente em 3 grupos para as seguintes condições experimentais: AH Plus,

Epiphany *primer*/AH Plus e Epiphany *primer*/cimento Epiphany-SC. A resistência de união à dentina dos referidos cimentos foi testada empregando-se o ensaio denominado *micropush out*^{63,65}.

Os 5 mm apicais do canal radicular de cada raiz foram seccionados transversalmente em uma máquina de corte Isomet 1000 Precision Saw (Buehler) com disco diamantado de 0,4 mm de espessura, sob constante refrigeração, em 3 fatias de 1 mm ($\pm 0,1$ mm) a partir de 1,8 mm aquém do ápice radicular (Figura 4.13 A), resultando em média 25 fatias por grupo. Aquelas que não tinham o canal uniformemente circular foram descartadas a fim de se tentar padronizar a distribuição de tensões entre os corpos-de-prova.

As espessuras das fatias foram medidas com um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm (Mitutoyo MTI Corporation, Tokio, Japão) e foram identificadas na ordem crescente, de apical para cervical. Foram capturadas imagens digitais de ambos os lados das fatias em câmera digital (Q-Color 5, Olympus) acoplada à lupa estereomicroscópica (SZ61, Olympus America Inc., PA, EUA), sob aumento de 25x. Para a mensuração dos diâmetros apical e cervical foi utilizado o *software* Image J (National Institute of Health, Maryland, EUA, <http://rsb.info.nih.gov/ij/>).

As fatias de cada raiz foram mantidas em recipientes individuais contendo solução fisiológica a 37 °C por 48 horas para manter o padrão de hidratação. Decorrido esse tempo foi realizada a secagem da dentina radicular com pontas de papel absorvente. Os segmentos radiculares das fatias do grupo AH Plus foram preenchidos com o cimento AH Plus. Nos outros dois grupos foi realizado o condicionamento dentinário com o Epiphany *primer* por 30 segundos. Após a remoção do excesso de *primer*, os segmentos do canal radicular foram preenchidos

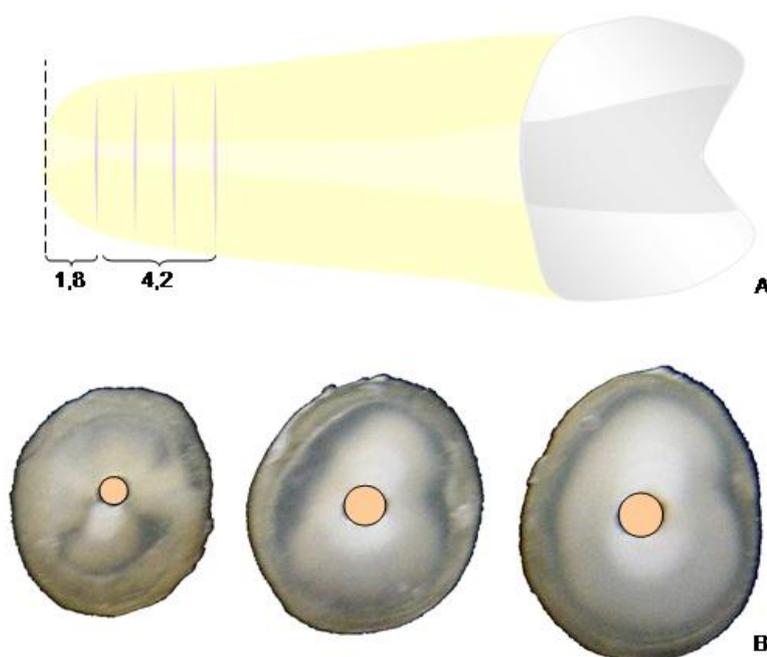


Figura 4.13 - Representação esquemática de preparo dos espécimes para o teste de resistência de união: (A) – Seccionamento das fatias radiculares; (B) – corpos-de-prova provenientes da mesma raiz

com os cimentos AH Plus e Epiphany-SC (Figura 4.13 B). Embora o cimento Epiphany seja um sistema resinoso *dual*, ele não foi fotoativado, para melhor simular as condições clínicas no terço apical. Os corpos-de-prova foram mantidos em câmara a vácuo a 37 °C e 100% de umidade por 72 horas.

Após o armazenamento, a superfície cervical de cada corpo-de-prova foi posicionada no suporte acoplado à base da máquina de ensaio universal (Kratos Dinamômetros, Embu, SP, Brasil). Dessa forma, o lado apical ficou voltado para um pino cilíndrico de aço inoxidável fixado à carga de célula (Figura 4.14). O diâmetro do pino foi selecionado de modo a ser 0,2 mm menor do que o diâmetro apical da fatia, a fim de se evitar que o mesmo tocasse nas paredes dentinárias durante o ensaio. Foi utilizada a velocidade de 0,5 mm/minuto até a extrusão do cone de cimento, registrada pela queda abrupta no valor da carga aplicada.



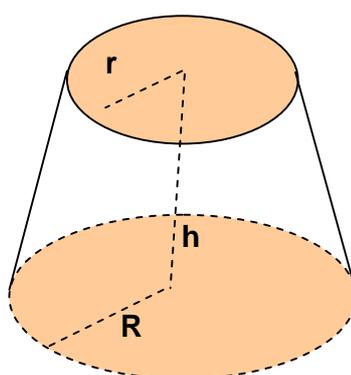
Figura 4.14 - Representação esquemática do dispositivo de *micropush out* utilizado para o teste de resistência de união

Para cada espécime, o valor de resistência de união (RU), expresso em MPa, foi calculado utilizando-se a fórmula: $RU = \frac{F(N)}{A(mm^2)}$, onde, **F** é a força máxima antes do rompimento da interface registrado na máquina de ensaios universal em Newtons e **A** é a área da interface colada em milímetros.

Para calcular a área da interface cimento/dentina foi utilizada a fórmula da área do tronco de cone: $A = \pi(R+r)\sqrt{(R-r)^2 + h^2}$, onde, π é uma constante 3,14; **R** é o raio maior; **r** é o raio menor, obtidos dos diâmetros cervicais e apicais, respectivamente, de cada fatia; e **h** é a espessura da fatia (Figura 4.15).

Após o ensaio, as fatias foram clivadas longitudinalmente, no sentido vestibulo-lingual, e as paredes dos canais radiculares foram examinadas em lupa estereomicroscópica sob 25x de aumento para determinar a natureza das falhas, as

quais foram classificadas em: adesivas (Tipo I e II), na interface dentina/cimento, ou coesivas de cimento (Tipo III).



$$A = \pi(R + r)\sqrt{(R + r)^2 + h^2}$$

Figura 4.15 - Fórmula do tronco de cone

4.5 Análise dos Resultados

Para o estudo da infiltração apical do AgNO_3 e formação de fendas apicais a análise estatística dos dados foi realizada utilizando-se um modelo de Regressão Logística Ordinal¹⁰¹ e Análise de Correspondência¹⁰² no programa MINITAB Statistical software (Minitab Inc., Release 14 for Windows 2003, State College, Pennsylvania, EUA). Para o estudo da micromorfologia da interface dentina/cimento resinoso foi realizada uma análise descritiva. E para o estudo dos fatores relacionados à formação de fendas apicais as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se os programas MINITAB e GMC Basic software (versão 8.1,

desenvolvido e cedido para pesquisa pelo Prof. Geraldo Maia Campos, Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2002). Todos os conjuntos de dados foram submetidos ao teste de normalidade e de homocedasticidade. Tendo sido cumpridos estes requisitos, foram utilizados os seguintes testes paramétricos:

- Dados de escoamento e de tensão de polimerização foram analisados utilizando-se o teste 't' de Student.
- Dados de microdureza foram analisados utilizando-se ANOVA de um fator com medidas vinculadas e teste de Tukey para comparação múltiplas entre as médias.
- Para o ensaio de resistência de união utilizou-se ANOVA de um fator e teste de Tukey. Neste ensaio, a unidade amostral foi definida como sendo cada uma das raízes utilizadas. Portanto, foi calculada a média aritmética dos valores de resistência dos corpos-de-prova provenientes de um mesmo dente.

Para todos os testes estatísticos foi fixado o nível de significância em 5%.

5 RESULTADOS

5.1 Estudo 1: Infiltração apical do AgNO_3 e formação de fendas apicais

O Gráfico 5.1 e o Gráfico 5.2 mostram a proporção de dentes com infiltração de AgNO_3 e fendas apicais a cada milímetro, respectivamente, para os grupos experimentais¹⁰³.

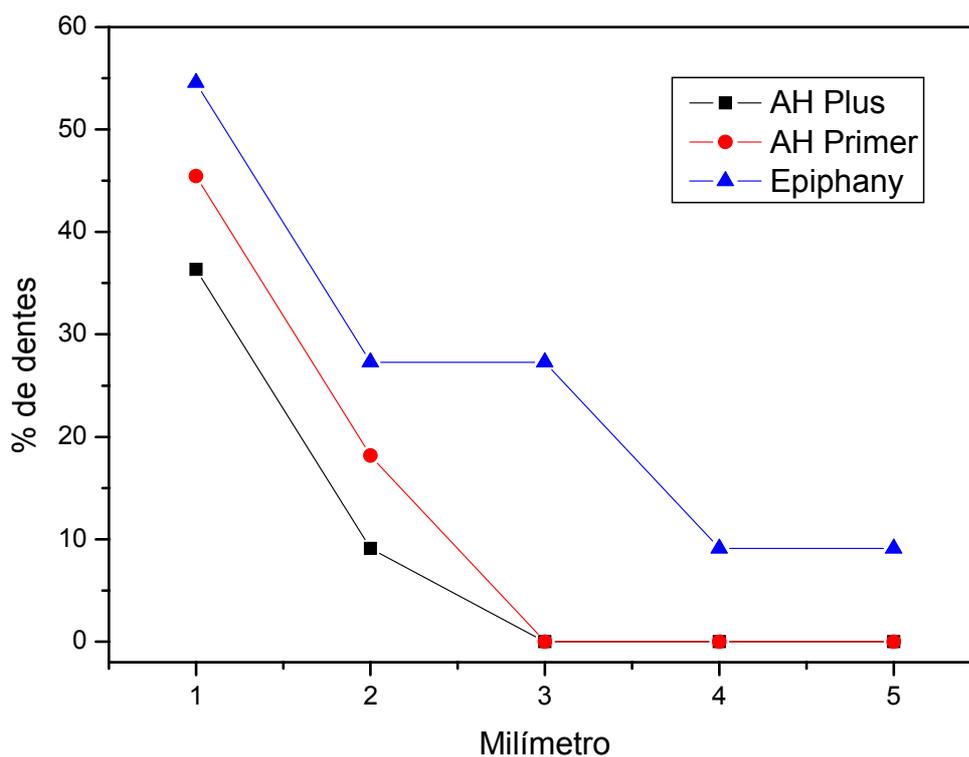


Gráfico 5.1 - Porcentagem de dentes com infiltração apical do AgNO_3 para cada grupo experimental

Observa-se que ocorreu infiltração em 36% dos espécimes ($n=4$), numa extensão linear de até 2 mm para o AH Plus, em 46% dos espécimes ($n=5$), em até 2 mm no AH Primer e no Epiphany a infiltração foi observada em 55% dos espécimes ($n=6$), numa extensão linear de até 5 mm (APÊNDICE A, Tabela 1).

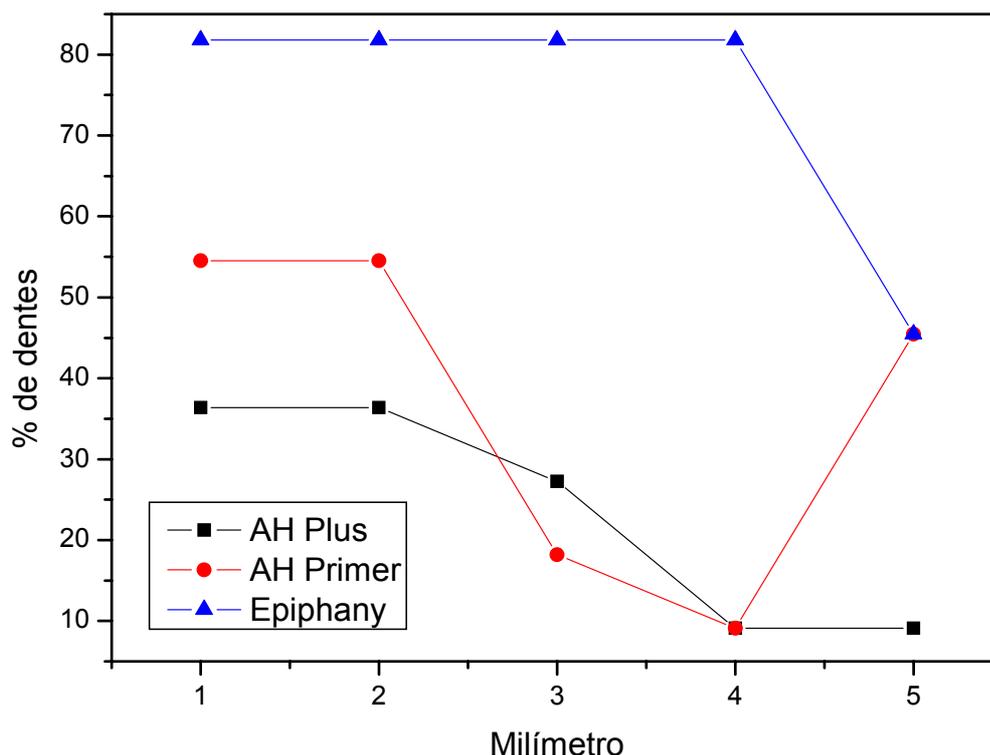


Gráfico 5.2 - Porcentagem de dentes que formaram fendas apicais para cada grupo experimental

A formação de fendas apicais foi observada em 36% dos espécimes ($n=4$), para o AH Plus, em 55% dos espécimes ($n=6$), para o AH Primer e no Epiphany em 82% dos espécimes ($n=9$) (APÊNDICE A, Tabela 2). Nessa análise o tipo de fenda não foi levado em consideração, somente a presença ou não da fenda.

A análise por MEV da infiltração do AgNO_3 revelou a penetração de partículas de prata na interface dentina/cimento, localizadas dentro dos túbulos dentinários,

sobre a dentina superficial e, eventualmente dentro da camada de cimento (Figura 5.1). A análise por EDS permitiu a identificação da prata, excluindo, dessa forma, resultados falso-positivos, uma vez que o contraste da Ag é idêntico ao de outros elementos químicos da composição dos cimentos testados, devido à semelhança de seus números atômicos.

O padrão de infiltração dos espécimes de cada grupo experimental está ilustrado na Figura 5.1 (A e B – AH Plus; C e D – AH Primer e E e F - Epiphany) e revelou diferenças entre os grupos.

Como análise complementar foram avaliadas as presenças de infiltração e fenda (APÊNDICE B), não considerando o tamanho da infiltração ou o tipo de fenda. No grupo AH Plus, dos espécimes que infiltraram (4), apenas 2 apresentaram fendas; 3 espécimes que não infiltraram apresentaram fendas; e os outros 4 não infiltraram, nem apresentaram fendas. No grupo AH Primer, todos os espécimes que infiltraram (5) apresentaram fendas; 3 espécimes que não infiltraram também apresentaram fendas; e os outros 3 não infiltraram, nem apresentaram fendas. No grupo Epiphany todos os espécimes que infiltraram (6) apresentaram fendas; 4 espécimes que não infiltraram também apresentaram fendas; e apenas 1 espécime não infiltrou, nem apresentou fendas. O Quadro 5. 1 contém os dados da contagem Infiltração vs. Fenda nas quatro categorias.

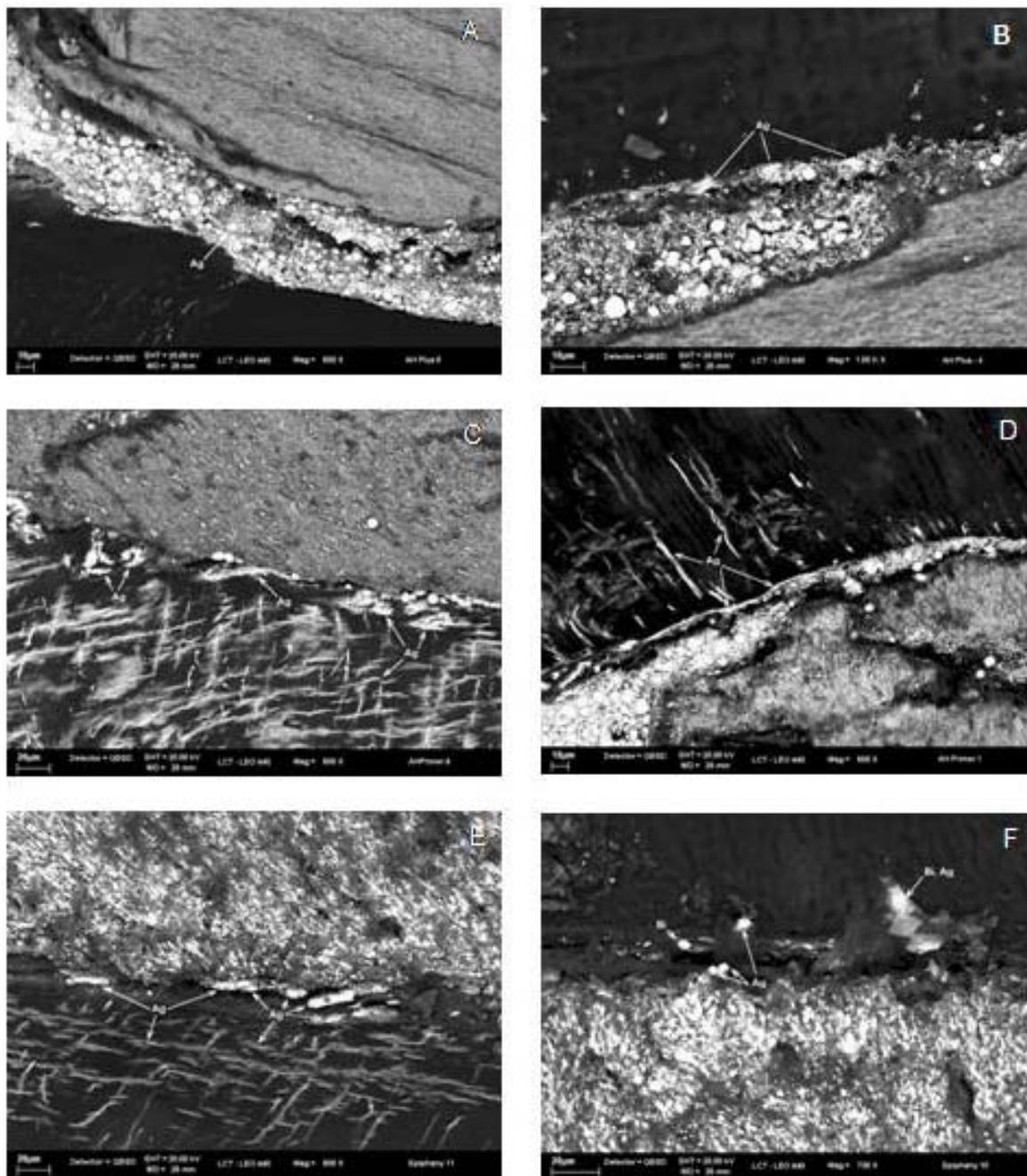


Figura 5.1 - Micrografias com elétrons retroespalhados (500x) das interfaces dentina/cimento representando a infiltração de AgNO_3 , via forame apical, em cada grupo experimental: (A e B) – AH Plus: a deposição de prata ocorreu de forma granular, ora dentro da camada de cimento, ora em contato com a dentina superficial. (C e D) – AH Primer: a prata penetrou nos túbulos dentinários de forma reticular e depositou-se na superfície dentinária com aspecto granular. (E e F) – Epiphany: a deposição da prata foi observada dentro dos túbulos dentinários de forma reticular e em forma de grânulos na superfície dentinária, sobre o cimento e dentro da camada de cimento

		Fenda		Total
Infiltração		Sim	Não	
	Sim	13	2	15
	Não	10	8	18
Total		23	10	33

Quadro 5. 1 - Número de dentes: Infiltração vs. Fenda

A Tabela 5.1 mostra o percentual dos tipos de fendas para cada grupo experimental, considerando cada milímetro do espécime (APÊNDICE B). Não considerando o tipo de fenda os valores percentuais totais foram 75%, 35% e 24% para o Epiphany, AH Primer e AH Plus, respectivamente.

Tabela 5.1-Freqüência e tipo de fenda na interface aderida, por milímetro, nos 5 mm apicais da obturação do canal radicular nos diferentes grupos experimentais

		Tipo de Fenda (%)			
Grupos	<i>n</i>	Tipo 0	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
AH Plus	55	42 (76)	11 (20)	1 (2)	1 (2)
AH Primer	55	36 (65)	14 (26)	4 (7)	1(2)
Epiphany	55	14 (25)	32 (58)	7 (13)	2 (4)

Tipo 0: ausência de fenda. Tipo 1: entre dentina e cimento. Tipo 2: entre cimento e cone. Tipo 3: os dois tipos no mesmo milímetro

Para análise inferencial foram consideradas duas variáveis, uma ordinal (infiltração) e a outra nominal (fenda), com as seguintes possíveis categorias de

respostas para a infiltração: (0) - ausência de infiltração, (1) - infiltração até o 1º mm, (2) - até o 2º mm, (3) - até o 3º mm, (4) - até o 4º mm e (5) - até o 5º mm; e para a fenda: (0) - ausência de fenda, (1) – fenda entre dentina e cimento, (2) – fenda entre dentina e cimento e entre cimento e cone. Nenhum espécime da amostra apresentou somente o tipo de fenda entre cimento e cone (APÊNDICE B). Foi realizada uma Análise de Regressão Logística Ordinal¹⁰¹ no intuito de verificar se havia efeito do tipo de cimento ou do tipo de fenda sobre a infiltração. Os grupos (AH Plus, AH Primer, Epiphany) foram considerados um fator fixo, os tipos de fenda (1 e 2) como covariável e a infiltração (milímetro) como resposta.

Tabela 5.2 - Análise de Regressão Logística Ordinal da infiltração apical em função do tipo de cimento e do tipo de fenda

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Z	P-valor	Razão de chances	Intervalo de confiança	
						L.Inf.	L.Sup.
Intercepto							
Infiltração0	1,417	0,854	1,66	0,097			
Infiltração1	2,840	0,949	2,99	0,003			
Infiltração2	3,698	1,041	3,55	0,000			
Infiltração3	4,937	1,332	3,71	0,000			
Grupo							
AHPrimer	- 0,061	0,910	- 0,07	0,946*	0,94	0,16	5,60
Epiphany	- 0,444	0,924	- 0,48	0,631*	0,64	0,10	3,92
Fenda							
1	- 1,254	0,993	- 1,26	0,207*	0,29	0,04	2,00
2	- 1,763	1,038	- 1,70	0,089*	0,17	0,02	1,31

*p>0,05

A Análise de Regressão Logística Ordinal na Tabela 5.2 demonstra que não há diferença estatística significativa entre os tipos de cimentos resinosos e os tipos de fenda sobre o *logit* da infiltração (p>0,05).

Diante desse fato, um novo modelo foi ajustado, no qual foi incluído somente o efeito de Fenda sobre a infiltração¹⁰¹. Os testes de ajuste do modelo apresentaram p-valores altos para o teste de Pearson (P=0,900) e o teste de Deviance (P=0,852), mostrando bom ajuste do modelo.

Tabela 5.3 - Análise de Regressão Logística Ordinal da infiltração apical em função do tipo de fenda

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Z	P-valor	Razão de chances	Intervalo de confiança	
						L.Inf.	L.Sup.
Intercepto							
Infiltração0	1,348	0,778	1,73	0,083			
Infiltração1	2,769	0,876	3,16	0,002			
Infiltração2	3,615	0,973	3,71	0,000			
Infiltração3	4,829	1,275	3,79	0,000			
Fenda							
Tipo 1	- 1,359	0,953	-1,43	0,154	0,26	0,04	1,66
Os 2 tipos	- 1,922	0,967	-1,99	0,047*	0,15	0,02	0,97

*p<0,05

A Análise de Regressão Logística Ordinal na Tabela 5.3 demonstra que o efeito do tipo de fenda sobre o *logit* da infiltração é significativo quando se compara a presença dos dois tipos de fenda com a ausência de fenda (p<0,05).

Para visualizar a associação entre Infiltração e Fenda foi realizada uma Análise de Correspondência¹⁰². O Gráfico 5.3 demonstra a associação entre infiltração e tipo de fenda. Nota-se que a ausência de infiltração (Inf.0) está associada à ausência de fendas (F.0); a infiltração até o 1º mm (Inf.1) está associada às fendas entre dentina e cimento (F.1) e as infiltrações mais extensas (Inf.3 e Inf.5) estão associadas à presença dos dois tipos de fendas (F.2).

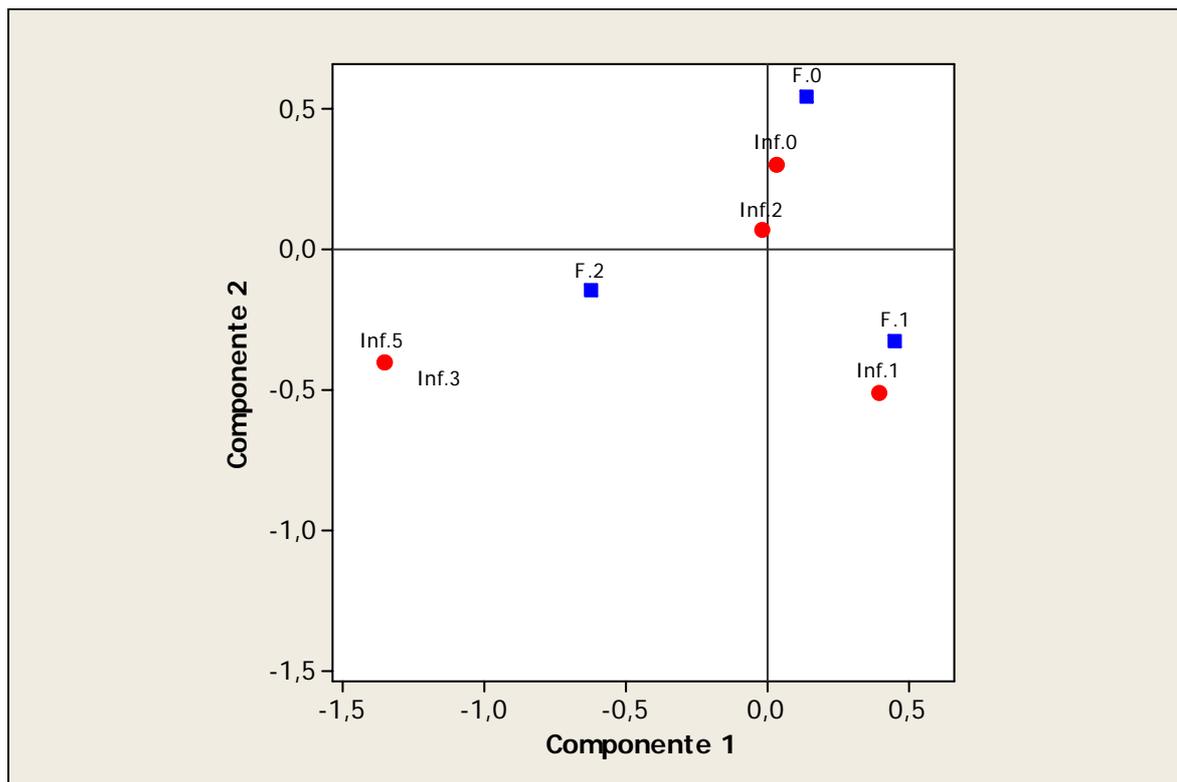


Gráfico 5.3 - Análise de Correspondência: infiltração vs. tipo de fenda

5.2 Estudo 2: Micromorfologia da interface dentina/cimentos resinosos

5.2.1 Padrão de condicionamento

Nas secções dentinárias superficiais o EDTA-T 17% removeu parcialmente a *smear layer* no 1ºmm apical, constatada pela incompleta dissolução de *smear plugs* (Figura 5.2 A). No 2º e 3ºmm ainda se observou resíduos de *smear layer* (Figura 5.2 C e E). No 4º e 5º mm a limpeza foi bastante efetiva (Figura 5.2 G e I). Entretanto, nas secções transversais observou-se áreas de dentina recoberta com *smear layer* (Figura 5.3 A) e túbulos dentinários obliterados com *smear plugs* (Figura 5.3 B).

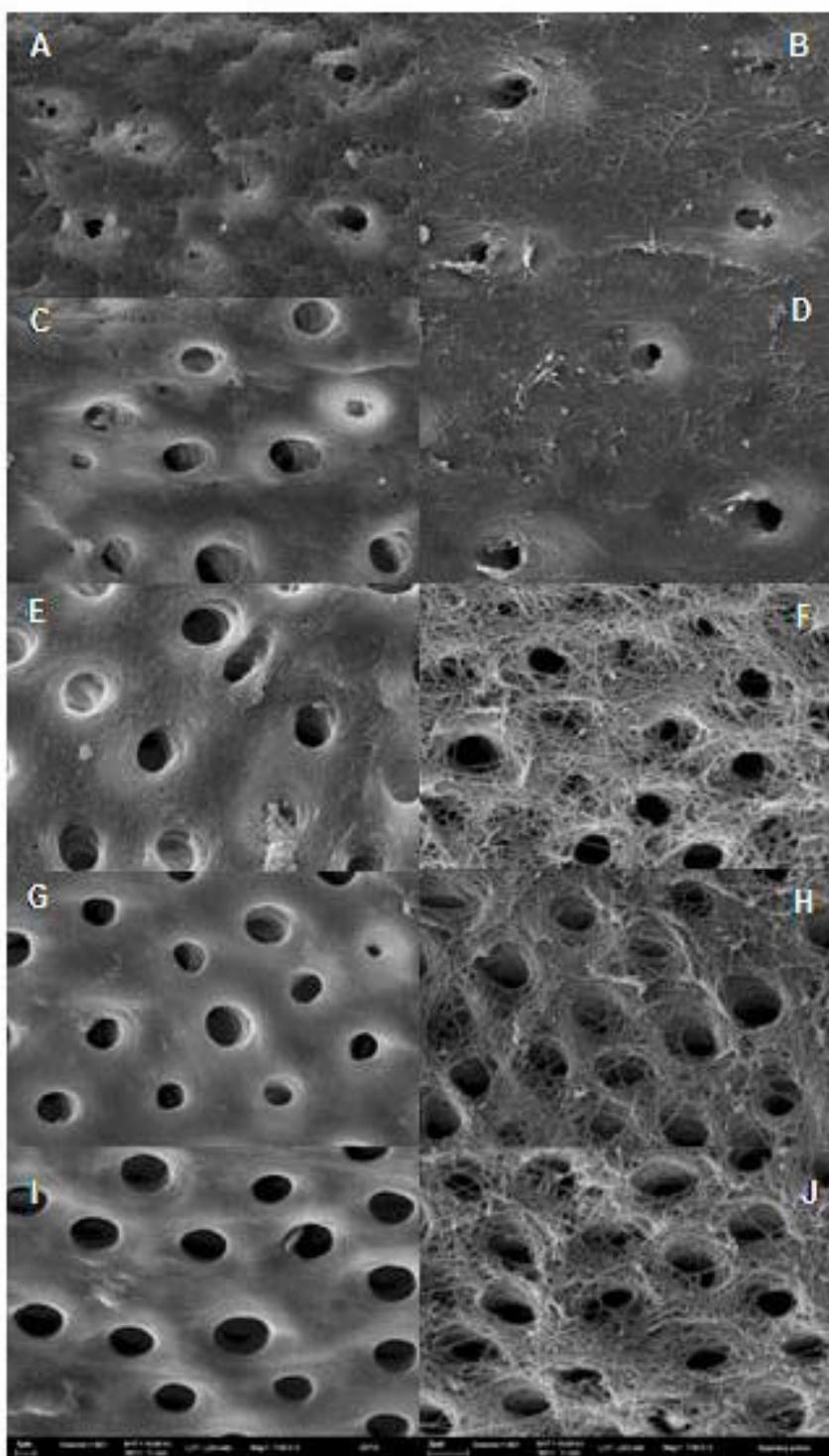


Figura 5.2 - Efeito superficial do condicionamento dentinário. As imagens do lado esquerdo correspondem aos 5 mm radiculares, de apical para cervical, condicionados com EDTA-T 17%, e do lado direito com EDTA-T 17% /EpiPhany *primer*

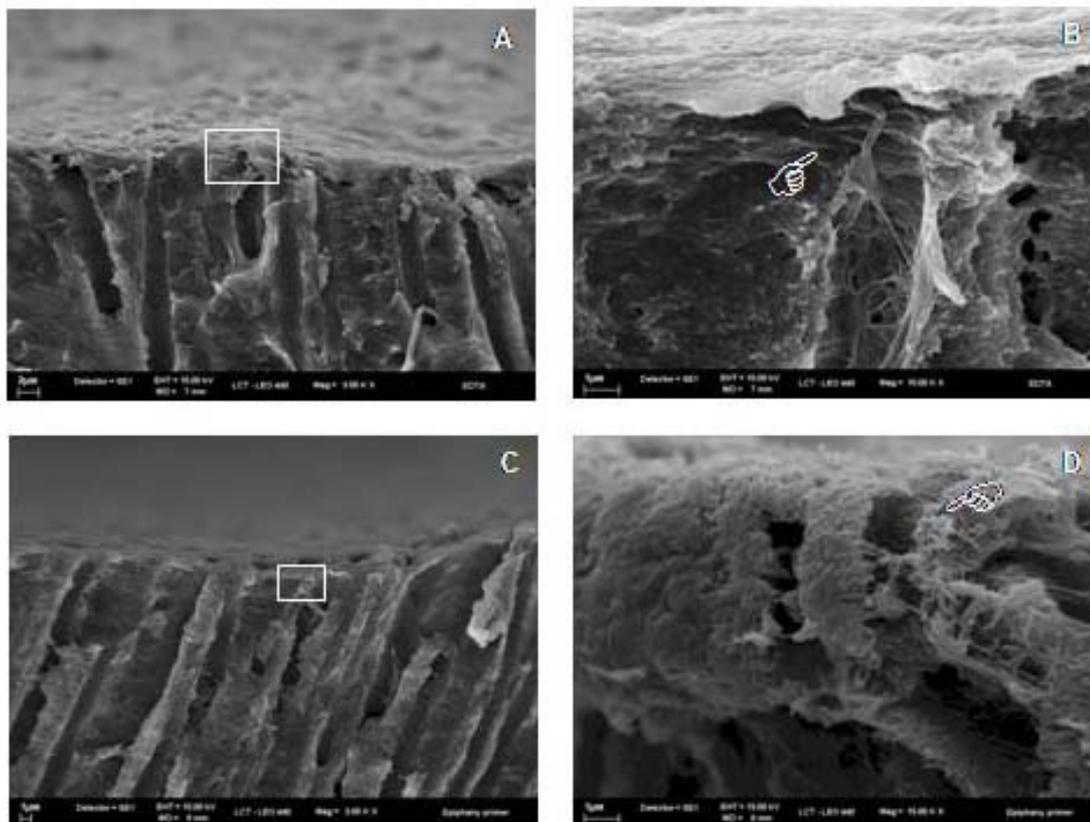


Figura 5.3 - Perfil do condicionamento dentinário no 4^o mm apical. EDTA-T 17%: (A) – Espessa camada de *smear layer* obliterando os túbulos dentinários. (B) - No maior aumento superfície interna do túbulo dentinário recoberta com fibras colágenas. EDTA-T 17%/Epiphany *primer*: (C) - Remoção total da *smear layer* expondo os túbulos dentinários. (D) – No maior aumento desmineralização da dentina intertubular e peritubular expondo densa rede de fibras colágenas

O Epiphany *primer* promoveu a remoção total da *smear layer*, *smear plugs* e desmineralização superficial da dentina intertubular e peritubular observada no 1^o e 2^o mm (Figura 5.2 B e D). Do 3^o ao 5^o mm, um forte efeito de condicionamento foi evidenciado pela profunda desmineralização dentinária expondo uma densa rede de fibras colágenas tanto superficialmente (Figura 5.2 F, H e J) quanto transversalmente (Figura 5.3 C e D). A profundidade de desmineralização foi medida utilizando-se um *software* analisador de imagem, Image J (National Institute of Health, Maryland, EUA, <http://rsb.info.nih.gov/ij/>). Foram realizadas 5 medidas em 3 micrografias (10.000x). A média obtida foi de $7,95 \pm 1,07 \mu\text{m}$.

5.2.2 Formação de prolongamentos de cimentos resinosos (*tags* e *plugs* apicais)

A densidade e morfologia dos *tags* e *plugs* de cimentos resinosos na interface adesiva do 1° ao 5° mm apical da obturação do sistema de canais radiculares foram descritas para as três condições experimentais.

No 1° e 2° mm do espécime obturado com o cimento AH Plus não se observou *tags* ou *plugs* de cimento. No 3° e 4° mm observou-se áreas com pouca densidade de pequenos *tags* de forma cilíndrica e estruturalmente vazios. A maioria

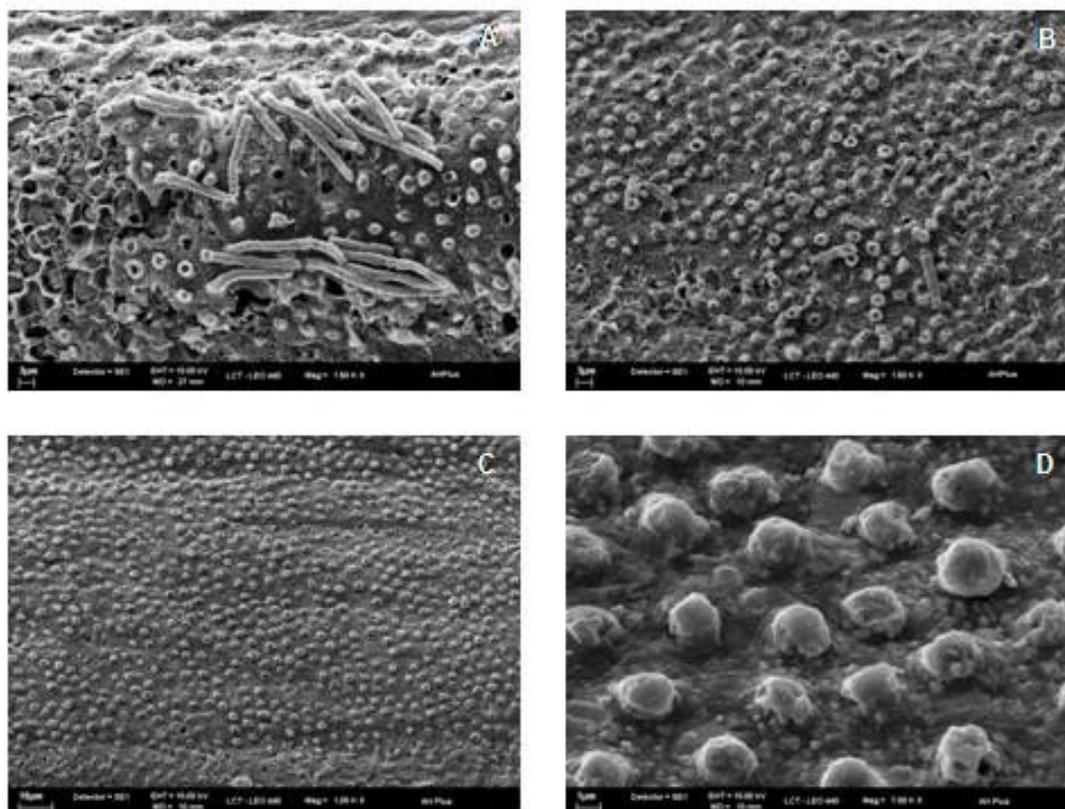


Figura 5.4 - Micrografias representativas do espécime obturado com cimento AH Plus após dissolução do substrato dental. (A) – *Tags* no 3° mm apical; (B) - Bases de *tags* fraturadas, visivelmente vazias, no 4° mm apical; (C) – *Plugs* no 5° mm apical; (D) – maior aumento mostrando a morfologia dos *plugs*

deles fraturados, provavelmente pela manipulação durante o processamento da amostra (Figura 5.4 A e B). No 5º mm observou-se áreas com alta densidade de *plugs* (Figura 5.4 C) com diâmetros relativamente grandes ou planos (Figura 5.4 D).

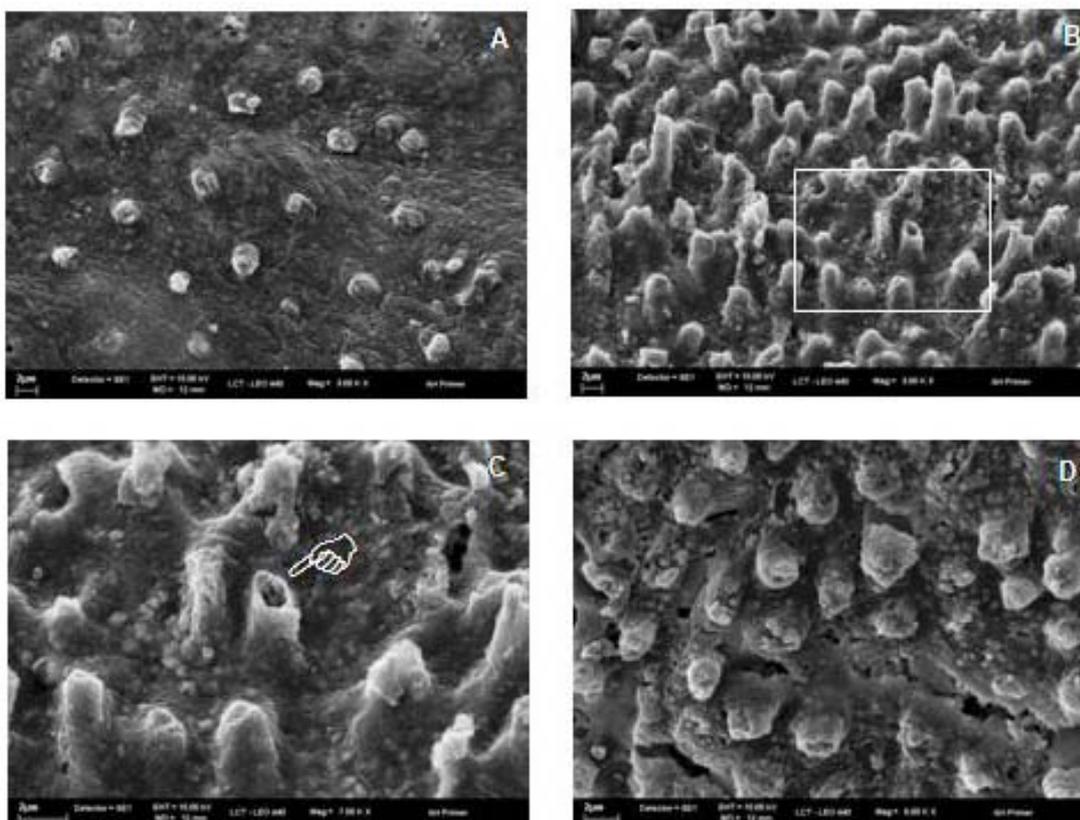


Figura 5.5 - Micrografias representativas do espécime condicionado com Epiphany *primer* e obturado com cimento AH Plus após dissolução do substrato dental. (A) - *Plugs* no 2º mm apical; (B e C) - Bases de *tags* vazios fraturados no 4º mm apical; (D) - *Tags* fraturados no 5º mm apical

No 1º e 2º mm do espécime em que a dentina radicular foi condicionada com o Epiphany *primer* e obturado com o cimento AH Plus foram observadas áreas com pouca densidade de pequenos *plugs* (Figura 5.5 A). No 3º e 4º mm observou-se áreas com alta densidade de pequenos *tags* cônicos e fraturados (Figura 5.5 B e C). No 5º mm observou-se áreas com alta densidade de *tags* fraturados com bases cônicas, provavelmente pela desmineralização da dentina peritubular (Figura 5.5 D).

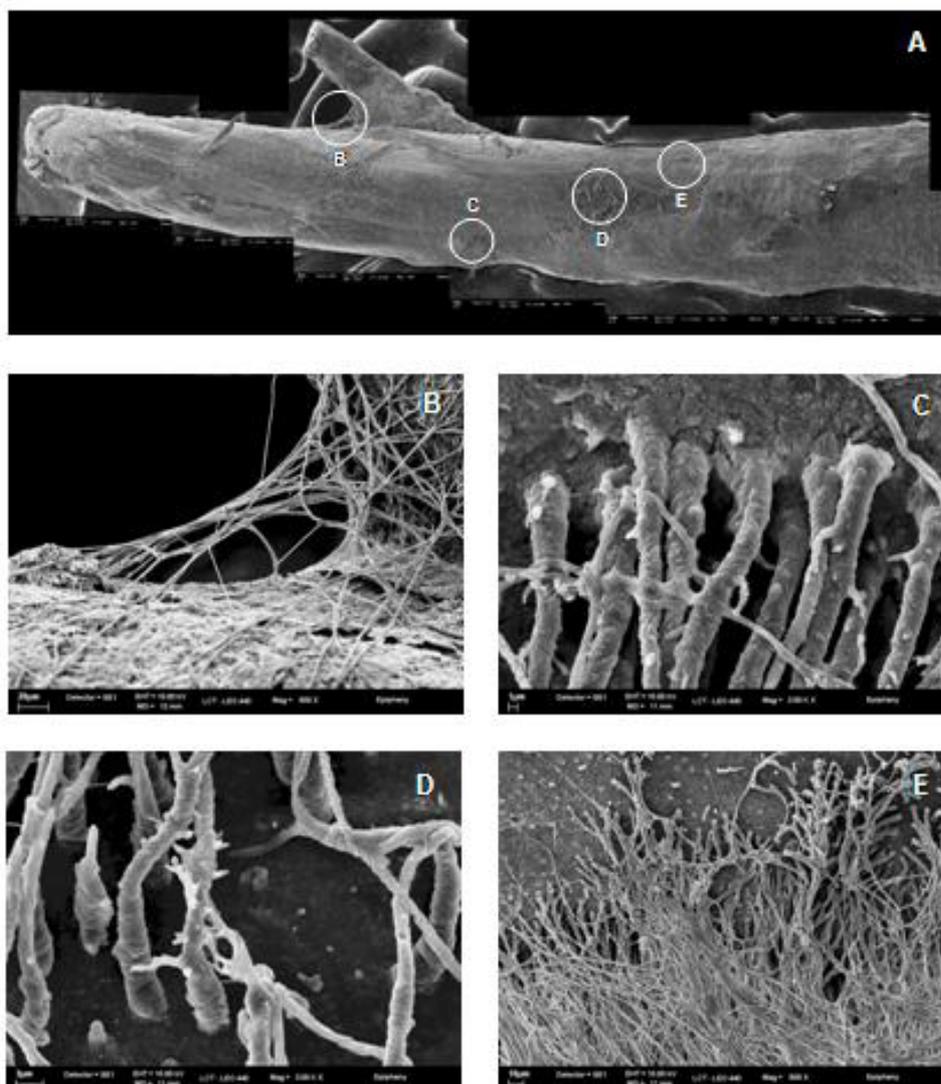


Figura 5.6 - Micrografias representativas do espécime obturado com o sistema Epiphany após dissolução do substrato dental. (A) – Os círculos brancos apontam áreas com longos tags. (B) – Tags na base de um canal acessório. (C e D) – Base dos tags e formação de ramificações. (E) – Tags colabados

No espécime obturado com o sistema Epiphany foram observadas nos 5 mm apicais da obturação endodôntica várias áreas com alta densidade de longos tags (Figura 5.6 A), demonstrando resistência do material à dissolução pelo HCl (Figura 5.6 B). Os tags apresentaram-se com forma afunilada, superfície irregular e formação de ramificações, reproduzindo a morfologia da dentina peritubular e intratubular condicionadas pelo Epiphany primer (Figura 5.6 C e D). Frequentemente observou-se longos tags colabados (Figura 5.6 E).

5.2.3 Mecanismo de união na interface dentina-cimento

Nos espécimes do grupo AH Plus foi observada adesão micromecânica na interface aderida (Figura 5.7 A e C), a partir do 1º mm apical, com *plugs* de cimento curtos e espessos obliterando os túbulos dentinários, mostrados em maior aumento na Figura 5.7 B e D.

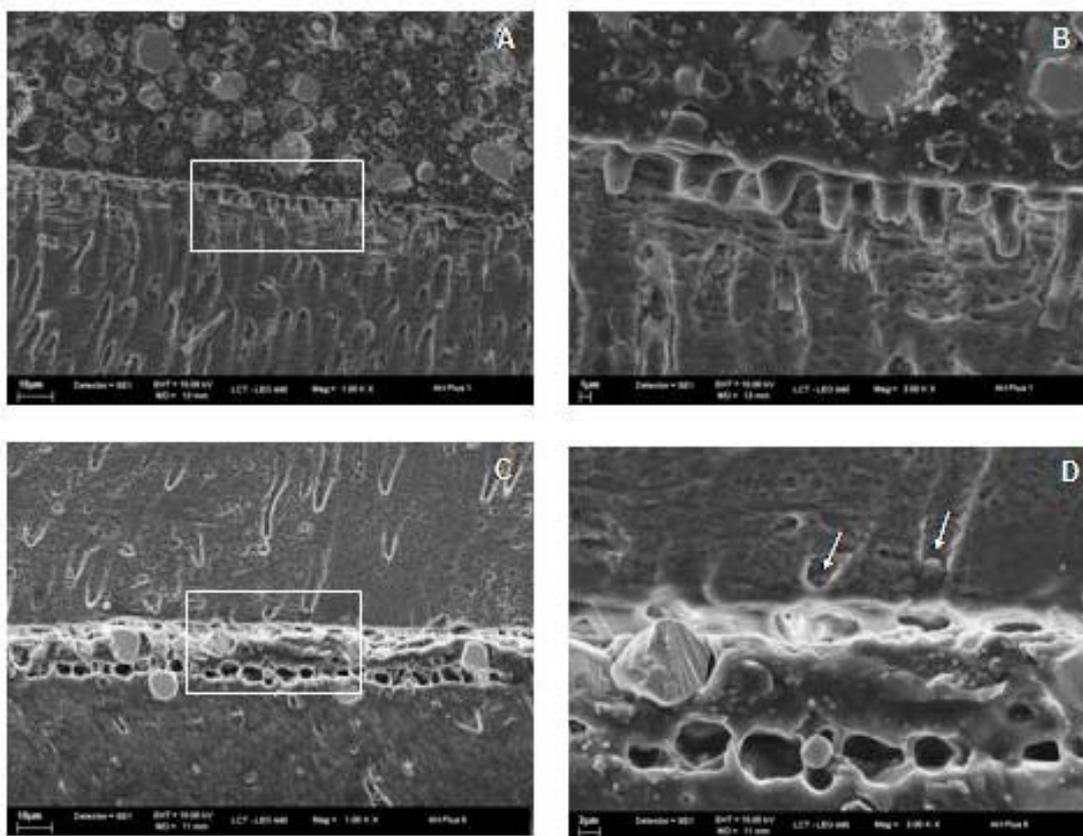


Figura 5.7 - Micrografias representativas da interface dos espécimes obturados com AH Plus. (A e C) - Adesão micromecânica no 3º e 4º mm, respectivamente. Em maior aumento as áreas destacadas: (B) - mostrando a formação de pequenos *plugs* de cimento; e (D) - Túbulos dentinários parcialmente vazios (setas)

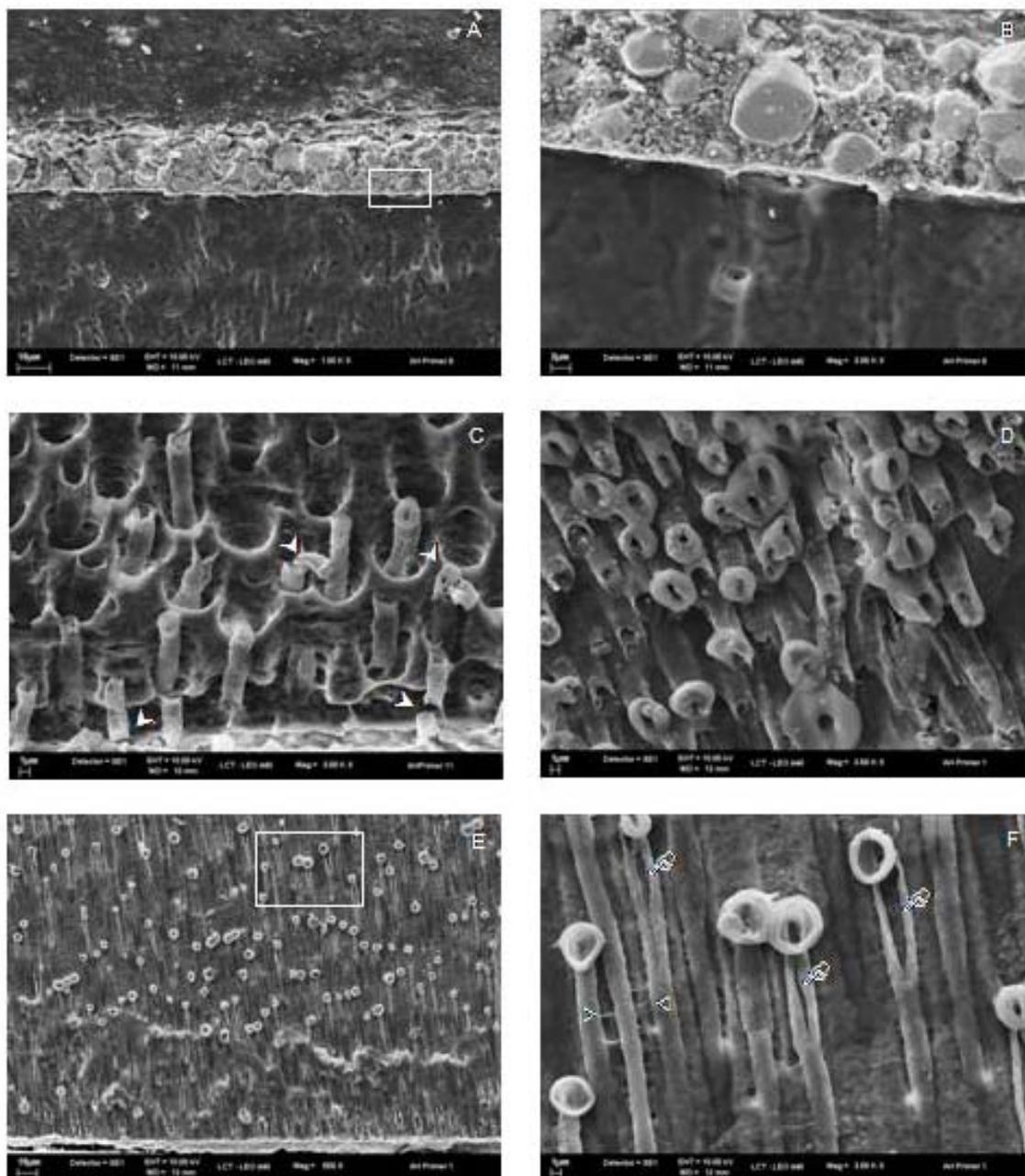


Figura 5.8 - Micrografias representativas da interface dos espécimes condicionados com Epiphany *primer* e obturados com AH Plus. (A) - Adesão micromecânica; (B) - Maior aumento da área destacada mostrando a pouca densidade de longos *tags* perpendiculares à interface aderida; (C) - Túbulos dentinários vazios e *tags* fraturados. Setas apontam a fragilidade dos *tags*. (D) - Alta densidade de *tags* vazios; (E) - Longos *tags* com concentração de material nas extremidades; (F) - Maior aumento mostrando *tags* visivelmente vazios (pointer) e intercomunicações entre os *tags* (setas)

Nos espécimes do grupo AH Primer foi observada a partir do 2^o mm apical a adesão micromecânica e longos *tags* perpendiculares à interface aderida (Figura 5.8

A, B e E). Morfologicamente esses *tags* apresentaram-se em forma de filamentos lineares, com base cilíndrica e superfície irregular, visivelmente sustentados pela dentina mineralizada (Figura 5.8 B). Como resultado da preparação dos espécimes foi observado túbulos dentinários vazios e *tags* fraturados (Figura 5.8 C). *Tags* estruturalmente ocos, com paredes finas e frágeis foram vistos na Figura 5.8 C e D. Foram observadas intercomunicações entre os *tags*, que resultaram da dissolução parcial da dentina peritubular expondo finas fibras, provavelmente de origem colágena. Essas fibras estavam interpostas entre a dentina peritubular e os *tags*, observadas em maior aumento na Figura 5.8 F.

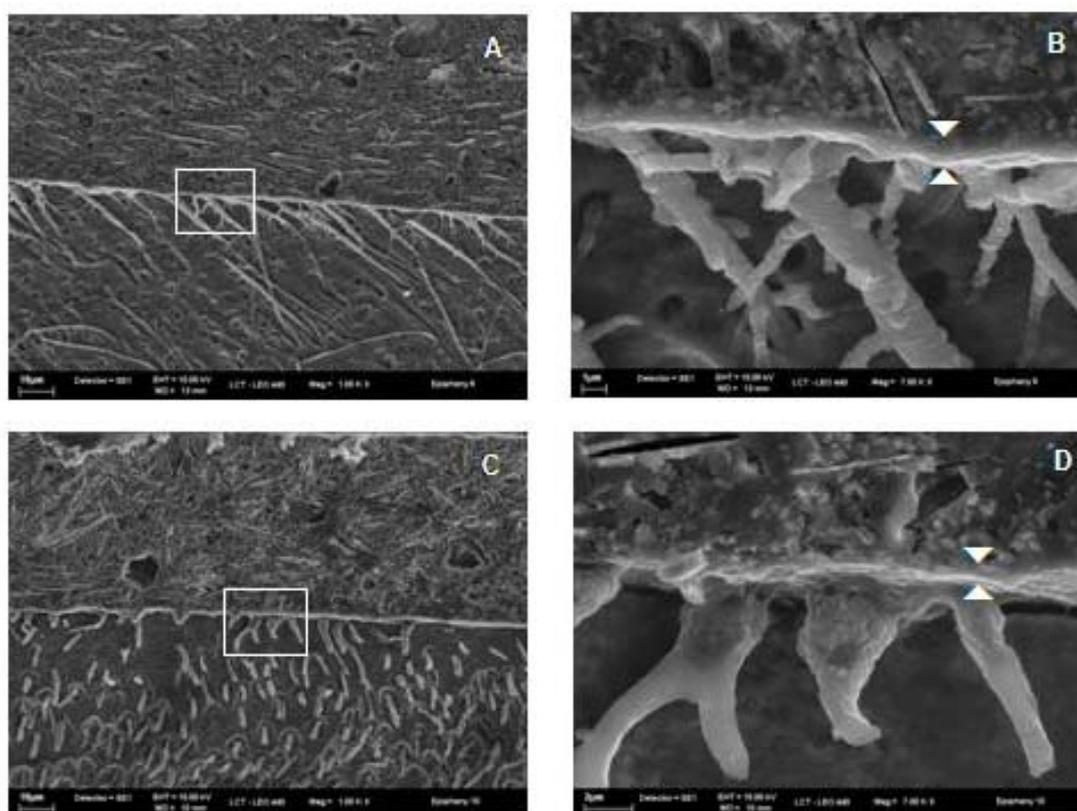


Figura 5.9 - Micrografias representativas da interface dos espécimes obturados com o sistema Epiphany. (A e C) - Adesão química e micromecânica do cimento à dentina e formação de longos *tags*; (B) - Maior aumento mostrando a base dos *tags* com a forma cilíndrica, superfície irregular e a formação de ramificações; (D) - Maior aumento mostrando a base de *tags* cilíndrica e irregular, em forma de funil e bifurcada; A espessura da camada híbrida é mostrada entre as setas nas figuras B e D

No grupo Epiphany foi observada a formação da camada híbrida e alta densidade de longos *tags* a partir do 1^o ao 5^o mm (Figura 5.9 A e C). A base desses *tags* tem a forma cilíndrica com superfície irregular e formação de ramificações destacadas em maior aumento na Figura 5.9 B. Essas estruturas alongaram-se gradativamente até tornarem-se afuniladas. Quando a dentina peritubular foi excessivamente removida formaram-se *tags* mais espessos com formas irregulares (Figura 5.9 D).

Foram selecionadas aleatoriamente 3 micrografias (7000x) para mensurar a espessura da camada híbrida devido sua forma geométrica linear irregular ao longo da interface adesiva. Para tanto, foi necessário dividi-la em trechos uniformemente regulares. Para mensurá-los foi utilizado o *software* Image J, obtendo-se a média dessas medidas. A média de espessura da camada híbrida foi de $0,82 \pm 0,23 \mu\text{m}$ e está apontada entre as setas nas Figura 5.9 B e D.

5.3 Estudo 3: Fatores relacionados à formação de fendas apicais

5.3.1 Características físicas dos cimentos

Os valores de escoamento para os cimentos AH Plus e Epiphany foram $28,6 \pm 0,7 \text{ mm}$ e $30,9 \pm 1,1 \text{ mm}$, respectivamente. A comparação entre as médias pelo teste 't'-Student revelou diferença estatisticamente significativa ($p < 0,001$).

As médias da tensão de polimerização foram $0,32 \pm 0,07$ MPa para o cimento Epiphany-SC e $0,65 \pm 0,08$ MPa para o Epiphany-F. O teste 't'-Student revelou diferença estatisticamente significativa entre os cimentos ($p < 0,05$). O cimento AH Plus registrou tensão de polimerização igual a zero durante os 60 minutos experimentais e, por esse motivo, foi excluído da análise estatística. No Gráfico 5.4 é observado o desenvolvimento da tensão de polimerização em função do tempo a cada segundo. Observa-se que o cimento Epiphany-SC começou a gerar tensão 20 minutos após o início do teste. O cimento Epiphany-F foi fotoativado 17 minutos após o início do teste, quando ocorreu o aumento abrupto da curva de tensão de polimerização.

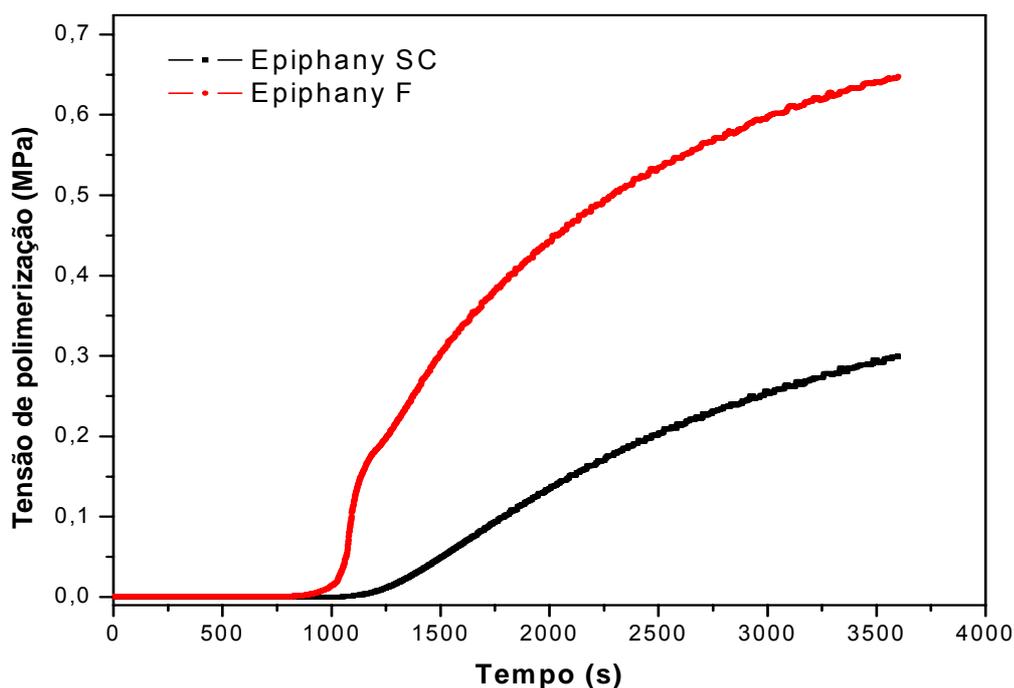


Gráfico 5.4 - Tensão de polimerização (MPa) em função do tempo (s) para o cimento Epiphany

A Análise de Variância dos valores da microdureza Knoop (KHN) do cimento Epiphany-F revelou diferença estatisticamente significativa entre as diferentes

profundidades ($p < 0,001$). O Gráfico 5. 5 demonstra a redução gradativa da KHN, em números absolutos (A) e em valores percentuais (B) na superfície do cimento diretamente irradiada pela fonte de luz (profundidade 0 mm) em direção ao ápice (10 mm de profundidade). O teste de Tukey identificou diferenças estatisticamente significantes entre as profundidades 0-2 mm, 2-4 mm e 6-8 mm. Se for considerado o valor médio da KHN na profundidade 0 mm como o máximo de dureza obtida pelo cimento (100%), pode-se observar a redução percentual da KHN em direção apical demonstrada pelo valor mínimo atingido a 10 mm de profundidade, que foi de 30% do valor obtido na região cervical.

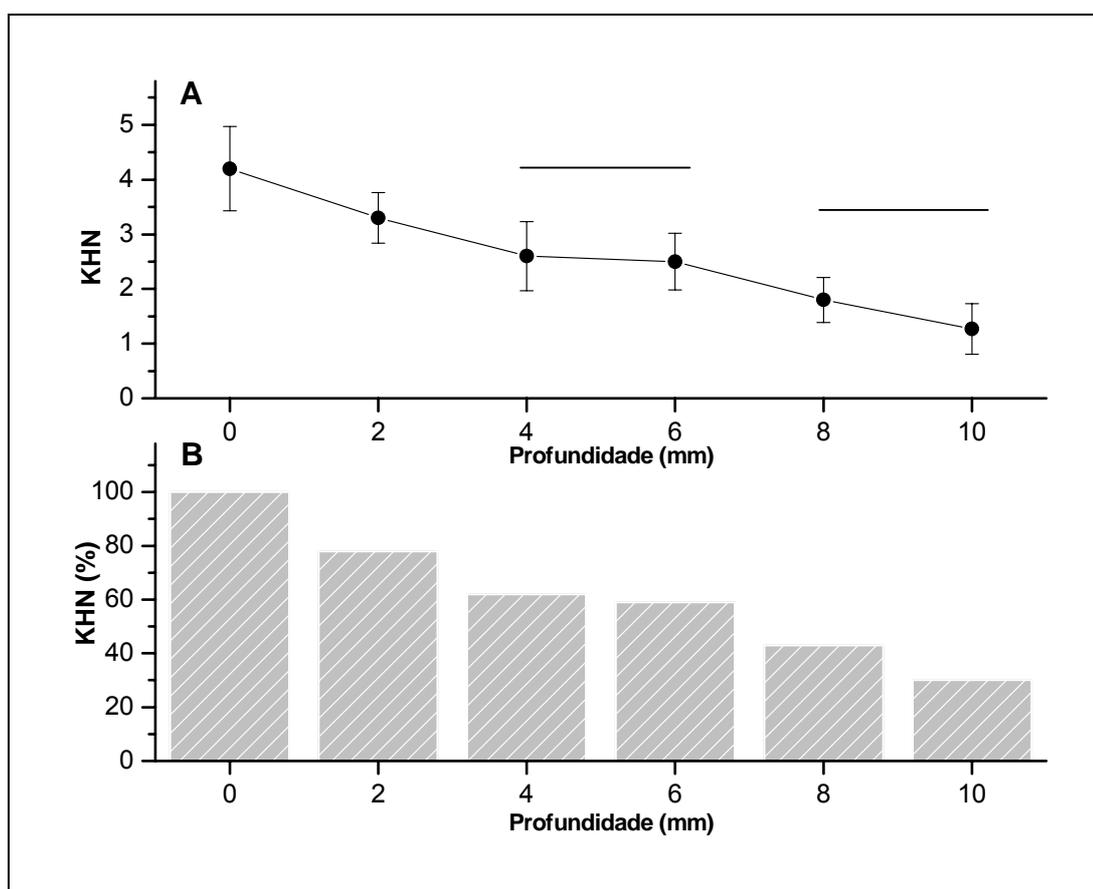


Gráfico 5. 5 - (A) - Médias e desvios-padrão da microdureza Knoop (KHN) para o cimento Epiphany-F em função da profundidade cervico-apical. As médias unidas por linhas horizontais são estatisticamente semelhantes; (B) - Percentual da KHN em função da profundidade

5.3.2 Resistência de união à dentina

A Tabela 5.4 resume os valores médios e desvios-padrão da resistência de união ao *micropush out*. A análise de variância revelou diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p < 0,001$). O teste de Tukey identificou que a resistência de união obtida pelo grupo Epiphany-SC foi estatisticamente menor do que a dos grupos AH Plus e Epiphany *primer*/AH Plus, as quais foram semelhantes entre si.

Tabela 5.4 -Médias e desvios-padrão dos valores de resistência de união (MPa) dos grupos experimentais testados e classificação do padrão de fratura (%)

Grupos	<i>n</i>	Resistência de União (MPa)	Tipo de Fratura (%)		
			Tipo I	Tipo II	Tipo III
AH Plus	25	17,8 (7,5) ^a	16 (4)	60 (15)	24 (6)
Epiphany <i>primer</i> /AH Plus	22	18,3 (5,9) ^a	9 (2)	73 (16)	18 (4)
Epiphany <i>primer</i> /Epiphany-SC	23	6,3 (5,3) ^b	13 (3)	43 (10)	44 (10)

Na mesma coluna, letras diferentes indicam diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$). Tipo I: toda a área de dentina exposta; Tipo II: predominantemente adesiva, com mais de 75% de área de dentina exposta; Tipo III: predominantemente coesiva de cimento, com mais de 50% de área de dentina recoberta por cimento

A inspeção da superfície dentinária dos espécimes revelou que as falhas foram predominantemente adesivas (Tipo I e II) entre a interface dentina/cimento, para todos os grupos.

6 DISCUSSÃO

A absoluta impermeabilização do sistema de canais radiculares é reconhecida como um dos fatores que pode influenciar o sucesso do tratamento endodôntico. Entretanto, até o momento esse objetivo ainda não foi alcançado, apesar das inúmeras variações de técnicas e materiais já propostos.

Dessa forma, é compreensível aceitar que seria possível obter o total selamento do sistema de canais radiculares empregando-se técnica e materiais de elevada capacidade de adesão entre si e à dentina radicular.

Em razão disso, vários agentes adesivos utilizados em Odontologia Restauradora^{13-15,17,18}, bem como alguns cimentos experimentais à base de metacrilatos^{16,19-21,23-25} foram testados na busca da maximização da capacidade de vedamento, empregando-se as mais diferentes metodologias. Infelizmente, todos eles apresentaram problemas no que tange às propriedades de tempo de trabalho, radiopacidade e dificuldade de remoção quando necessário; não atendendo, assim, aos requisitos ditados pela ISO (2001). Isso, de certa forma, alavancou as pesquisas no setor, culminando com o desenvolvimento dos atuais materiais adesivos, especificamente concebidos para uso endodôntico²⁸⁻³⁰.

Um dos parâmetros utilizados para se avaliar a eficácia da adesividade desses novos cimentos endodônticos é a qualidade do selamento marginal *in vitro* a curto, médio e longo prazos^{33,36}. Para tanto, os testes de microinfiltração são freqüentemente empregados, a fim de se predizer o desempenho clínico. Dentre tais testes, o modelo de penetração apical de corantes e traçadores químicos ainda tem sido muito utilizado e considerado um método válido. A solução de AgNO₃ tem baixo

peso molecular (169,87); o que lhe permite penetrar facilmente em microespaços, reagindo com as estruturas orgânicas. A solução reveladora o transforma em íons metálicos, precipita-os, torna-os insolúveis, visivelmente escuros a olho nu e com contraste para serem visualizados em MEV⁹⁵.

Vale ressaltar que neste estudo foram avaliados os efeitos imediatos dos produtos testados, pois se entende que o bom desempenho imediato pode ser considerado um pré-requisito para se prever o desempenho clínico. Muito embora os resultados *in vitro* não possam, de maneira simplista, serem extrapolados para a prática clínica, eles oferecem margem a processos comparativos de desempenho^{11,31,57}.

O presente estudo foi realizado partindo-se das hipóteses experimentais de que existiria: (1) diferença nos níveis de microinfiltração apical entre os materiais testados; (2): correspondência entre microinfiltração apical e a frequência de fendas nos 5 mm apicais; (3): relação entre a profundidade de desmineralização dentinária, com a espessura da camada híbrida e o comprimento de *tags* apicais; (4): influência da resistência de união à dentina e das características físicas dos produtos testados sobre a formação de fendas apicais.

O primeiro estudo desta pesquisa avaliou o selamento marginal apical e a frequência de fendas nos 5 mm apicais por meio da análise qualitativa da microinfiltração, utilizando-se o método de impregnação da solução aquosa de AgNO₃ a 50% e réplicas em resina epóxica, respectivamente. Os resultados indicaram não haver diferença estatisticamente significativa entre os produtos testados nem para infiltração nem para frequência dos tipos de fendas ($p > 0,05$) (Tabela 5.2), rejeitando-se, portanto, a primeira hipótese experimental.

Esses resultados estão de acordo com um estudo que também utilizou um corante como marcador de microinfiltração³², bem como com outros estudos que, embora, tenham utilizado metodologias diferentes, o fizeram com o mesmo objetivo^{33,35}. Todos eles afirmaram que o selamento marginal apical imediato obtido com o sistema Epiphany não foi superior ao da guta-percha/AH Plus. Vale lembrar que um desses experimentos foi estendido por um período de até 90 dias mantendo o mesmo resultado³³.

Convém ressaltar que utilizando as mesmas condições experimentais deste estudo, no que concerne a microinfiltração apical, com exceção apenas para o método de impregnação da dentina, a penetração passiva do corante azul de metileno a 0,5%, e da leitura dessa infiltração, um estudo prévio¹ obteve resultados estatísticos idênticos ao deste experimento ($p>0,05$), a despeito das atuais críticas sobre a validade do método de infiltração do corante azul-de-metileno.

Os resultados imediatos relativos a microinfiltração apical, obtidos neste experimento, foram ratificados por um recente estudo³⁶. Entretanto, em longo prazo, constataram que os espécimes obturados com AH Plus/guta-percha mantiveram o selamento apical após um período de 16 meses, enquanto que aqueles obturados com o sistema Epiphany o perderam. Curiosamente, foi observado que alguns espécimes obturados com AH Plus/guta-percha inicialmente infiltraram, porém, após o período de 16 meses isso não ocorreu. Os autores tentaram explicar esses resultados atribuindo-os à propriedade de expansão do AH Plus quando em contato com umidade⁶². Para explicar a perda do selamento do sistema Epiphany

¹ Souza SFC, Kenshima S, Francci C, Bombana AC. Effect of a self-etch primer on the apical sealing of resin-based sealers. Trabalho enviado para publicação na revista Australian Endodontic Journal (aguardando resultado).

especularam que isso poderia estar associado ao mesmo fenômeno de degradação física e química que ocorre nas restaurações adesivas com o tempo³⁷.

Já existem fortes evidências de que o Resilon sofre biodegradação enzimática^{42,43} e alcalina⁴⁴. Foram observadas superfícies de erosão em espécimes de Resilon após um período de imersão de 20 minutos em um agente hidrolisante alcalino⁴⁴, assim como, quando em contato com as enzimas lipase e esterase por períodos de 96 horas⁴² e 104 horas⁴³. Isso parece preocupante, uma vez que essas enzimas estão presentes tanto na composição da saliva, como nos microrganismos do meio oral e, principalmente em algumas espécies comumente encontradas nas infecções endodônticas. É razoável ainda supor que essa biodegradação poderia ser agravada pela solubilidade do cimento Epiphany, que se mostrou estatisticamente significativa quando comparada à do AH Plus^{46,47}. Outro aspecto que também poderia influenciá-la é a alta capacidade de sorção de água do cimento Epiphany⁴⁶.

Por outro lado, estes resultados não concordam com outros estudos^{31,34} que apontaram o sistema Epiphany como o material capaz de prover maior resistência à movimentação de fluidos, comparados ao AH-26 ou AH Plus; nem tampouco com os de Shipper et al^{29,30}, sendo esses os primeiros resultados de experimentos publicados com esse novo produto, cabendo considerar que essas pesquisas foram patrocinadas pelo próprio fabricante.

Nesses dois experimentos foi constatada *in vitro* a resistência do sistema Epiphany à penetração bacteriana de *Streptococcus mutans* e *Enterococcus faecalis* quando comparado ao AH-26, após um período de 30 dias; bem como *in vivo*, em um modelo experimental em cães, no qual foram induzidas periodontites apicais^{29,30}. Nesse último, concluída a obturação, as câmaras coronárias foram intencionalmente

contaminadas com microrganismos da placa dental durante um período de 14 semanas. Decorrido 6 meses, foi constatada a resolução das periodontites apicais para o sistema Epiphany quando comparado ao AH-26, por meio de avaliação histológica, confirmando a efetividade do selamento coronário³⁰.

Alguns aspectos, entretanto, necessitam ser considerados. Os dois estudos de Shipper et al^{29,30}, na verdade avaliaram a infiltração bacteriana coronária, não a apical. Em ambas as condições experimentais, esses resultados são aceitáveis, uma vez que a fotoativação do material parece conferir um selamento coronário imediato, o que, entretanto, parece não ocorrer no terço apical. Já no estudo *in vivo* especulase que a alta liberação de hidróxido de cálcio (41.46 mg L^{-1}) que ocorreria durante o processo de solubilização do cimento Epiphany tornaria o meio alcalino, culminando com a aceleração do processo de reparo dos tecidos periapicais⁴⁷, que também teria contribuído positivamente com esses resultados.

Um dos primeiros estudos independentes que se propôs a avaliar a efetividade do sistema Epiphany mostrou a presença de *gaps* em dentes obturados tanto com esse sistema quanto com AH-26/guta-percha, porém, sem diferença estatística significativa para o padrão de infiltração entre os dois produtos. Na oportunidade, já alertou que o conceito de *monobloco* de resina, alardeado pelo fabricante, de fato, não se revelava para esse novo produto⁵⁶.

Observou-se na literatura endodôntica que poucos estudos se preocuparam em averiguar a integridade da interface adesiva em obturações com o sistema Epiphany, valendo-se da detecção e mensuração de fendas⁵²⁻⁵⁴. Tais estudos identificaram a presença de espaços no terço apical de canais radiculares obturados com o sistema Epiphany, mas não detectaram diferenças significantes quando o

compararam à guta-percha associada a um cimento à base de óxido de zinco⁵² ou ao cimento AH-26⁵³ ou mesmo ao próprio cimento Epiphany⁵⁴. Esses achados foram ratificados em observações realizadas em microscopia confocal a laser, mostrando que o menor percentual e a menor profundidade de penetração do cimento Epiphany ocorrem no terço apical⁵⁵. Isso poderia ser explicado, dentre outros fatores, pela histomorfofisiologia do terço apical radicular⁷⁵⁻⁷⁷.

O presente estudo investigou a frequência de fendas nas interfaces aderidas, entre cimento e dentina ou entre cimento e cone obturador, valendo-se de réplicas em resina epóxica dos 5 mm apicais, as quais foram avaliadas em MEV. Como pode ser observado na Tabela 5.3 quando se avaliou a frequência de fendas, sem se levar em consideração o tipo de fenda, constatou-se que esse evento tem efeito sobre a microinfiltração apical ($p < 0,05$) e que os maiores valores percentuais (75%) foram observados no grupo Epiphany (Tabela 5.1), dessa forma confirmando a segunda hipótese experimental.

Observou-se diferença no padrão de infiltração para os grupos experimentais como pode ser visto na Figura 5.1. Acredita-se que isto poderia estar relacionado aos tipos de fendas e à extensão da infiltração. Para complementar essa informação foi realizada uma análise de correspondência entre os tipos de fendas e a extensão da infiltração linear do AgNO_3 (Gráfico 5.3), onde se observou que a infiltração até o 1º mm estava associada às fendas entre cimento e dentina e as infiltrações mais extensas, ou seja, até o 5º mm estavam associadas tanto às fendas entre cimento e dentina quanto entre cimento e cone obturador.

Não obstante, o percentual de frequência de fendas apicais constatado neste estudo difere dos estudos referidos acima. Acredita-se que isso se deva às diferenças metodológicas, pois enquanto naqueles a investigação da presença de

fendas foi realizada no próprio espécime, neste estudo foi realizada em réplicas de resina epóxica confeccionadas imediatamente após a secção dos espécimes, eliminando, assim, os artefatos da técnica de preparo das amostras. Com base nesses achados é possível afirmar que se torna necessário reconsiderar o conceito de que o sistema Epiphany formaria um *monobloco* de resina.

No segundo estudo desta pesquisa avaliou-se o mecanismo de união dos cimentos resinosos testados à dentina radicular através da micromorfologia da interface adesiva, e, para complementar a interpretação dos resultados obtidos avaliou-se as duas etapas críticas da hibridização: o padrão de condicionamento e a formação de *tags* ou *plugs* apicais.

O padrão de condicionamento foi significativamente diferente para o EDTA-T 17% e EDTA-T 17%/Epiphany *primer*. Quando as secções da amostra condicionada com EDTA-T 17%, denominadas neste estudo de *superfície* foram avaliadas, observou-se resíduos de *smear layer* do 1º ao 3º mm (Figura 5.2 A, C, E), enquanto que nas secções transversais, denominadas *perfil*, observou-se que o EDTA-T 17% não foi capaz de eliminá-la (Figura 5.3). Uma explicação para isso talvez seja o método de preparo das amostras. Enquanto aquelas foram preparadas após o seccionamento longitudinal, nessas foram simuladas as condições clínicas quando o seccionamento transversal foi realizado após o preparo das mesmas (Figura 4.7). Esse segundo protocolo de preparo foi adotado para se certificar da possível presença da *smear layer* quando da aplicação do Epiphany *primer*, o que será discutido mais adiante.

Já nas amostras condicionadas com EDTA-T 17%/Epiphany *primer* foi observada progressiva desmineralização dentinária a partir do 1º mm nas secções correspondentes à *superfície* (Figura 5.2 B, D, F, H, J), bem como nas secções

correspondentes ao *perfil*, (Figura 5.3 C e D). No primeiro momento acreditou-se que isso seria devido ao baixo pH do Epiphany *primer* (em torno de 0,3 - APÊNDICE C), que o categoriza na classificação dos sistemas adesivos *self-etch* de acidez forte^{37,88}. Entretanto, mais importante do que o pH inicial do Epiphany *primer* para promover o padrão de condicionamento parece ser o perfil de sua capacidade tampão (APÊNDICE C, Gráfico 1). A capacidade tampão indica a resistência do adesivo à neutralização por componentes da *smear layer* e da dentina, sendo que essa desmineralização ocorrerá enquanto o pH estiver abaixo de 5,5. No APÊNDICE C (Gráfico 2), nota-se que, no pH 5,5 o volume de base adicionado ao Epiphany *primer* é semelhante a outros *primers* comerciais já estudados, entretanto, bem menor do que o ácido fosfórico 35%. Dessa forma, é razoável supor que apesar de ocorrer o tamponamento do Epiphany *primer* mais rápido do que o do ácido fosfórico, esse aparenta ser suficiente para promover a remoção da *smear layer* e expor as fibras colágenas da dentina radicular.

A média de profundidade de desmineralização dentinária mensurada no presente estudo foi de $7,95 \pm 1,07 \mu\text{m}$. Esse dado supera os valores de profundidade de desmineralização obtidos por ácidos fosfóricos em diferentes concentrações⁸². Assim, é razoável acreditar que o condicionamento prévio com o EDTA-T 17%, como recomendado pelo fabricante do sistema Epiphany para a remoção da *smear layer*, embora não seja suficiente para tanto (Figura 5.3 A), facilitaria a ação desmineralizante do *primer* (Figura 5.3 D). Daí surge a seguinte dúvida: o cimento Epiphany teria capacidade de escoamento suficiente para preencher todos os espaços entre as fibrilas colágenas?

Para responder essa indagação o valor de escoamento para o cimento Epiphany neste estudo mostrou diferença estatisticamente significante quando

comparado ao do AH Plus ($p < 0,001$), diferindo de outros estudos^{47,79}, mas superando as exigências da Especificação nº 57 da ANSI/ADA⁸⁹.

A espessura da camada híbrida é comumente considerada um indicador da profundidade de desmineralização dentinária⁸³. Essa assertiva não se aplica ao presente estudo uma vez que a espessura da camada híbrida obtida pelo cimento Epiphany foi de $0,82 \pm 0,23 \mu\text{m}$ (Figura 5.9 B e D) correspondendo a um pouco mais de 10% da profundidade de desmineralização obtida pelo Epiphany *primer*.

Ratificando estes resultados, um recente estudo encontrou evidências micromorfológicas de discrepância entre a profundidade de desmineralização dentinária e infiltração por monômeros resinosos num sistema autocondicionante de acidez fraca, contrariando o que se pensava e suscitando a preocupação de que isso poderia ser ainda mais crítico com sistemas de maior acidez⁵¹, como, por exemplo, o Epiphany *primer* (pH 0,3), utilizado neste experimento. Somando-se a isso uma outra possível explicação para essa discrepância seria a dificuldade, conferida pelo tamanho das partículas que compõem a carga do cimento Epiphany (APÊNDICE D, Figura 1 A e B) de penetrar nos diminutos espaços da trama de fibras colágenas.

A alta fluidez e a natureza hidrofílica do cimento Epiphany associadas à pressão exercida durante a condensação lateral permitiram o seu escoamento para o interior dos túbulos dentinários formando longos *tags*, que permaneceram unidos ao cone principal, após dissolução do substrato dental, como visto na Figura 5.6. Nestes espécimes foram observadas áreas desprovidas de *tags*, que poderiam estar relacionadas à presença de fendas, possivelmente originadas pela contração volumétrica do material durante a polimerização^{56,72}. Isso, porque o alto percentual de fendas (75%) observado neste estudo para o grupo Epiphany (Tabela 5.1) sugere

que a existência de camada híbrida e de longos *tags* não garante a ausência de fendas.

O menor escoamento do AH Plus neste estudo, sua característica hidrofóbica, somados a eventual presença de *smear layer* residual²⁶, presença de ar dentro dos túbulos dentinários ou à própria umidade, intrínseca ao substrato dentinário, dificultariam a penetração do material nos túbulos dentinários. Acredita-se, então, que no grupo AH Plus, o somatório dessas condições contribuiu para a adesão micromecânica na interface aderida e formação de pequenos *plugs* de cimento, obliterando os túbulos dentinários, como mostram as micrografias (Figura 5.7 e Figura 5.4, respectivamente).

Uma técnica não-convencional de obturação endodôntica foi incluída neste estudo, o grupo AH Primer. Isso ocorreu por se acreditar que na prática clínica é comum o cirurgião-dentista fazer associação de produtos, no afã de potencializar as propriedades físico-químicas dos materiais. Além disso, a literatura endodôntica reportou que essa forma não usual de tratamento foi utilizada para testar alguns materiais restauradores adesivos^{13,17}. Nos espécimes deste grupo foi observada penetração extensiva do Epiphany *primer* para dentro dos túbulos dentinários, entretanto, como era de se esperar, devido à sua intrínseca característica hidrofóbica o AH Plus não o acompanhou. Isso resultou apenas na adesão micromecânica na interface aderida (Figura 5.8 A e B) e formação de longos *tags*, porém, ocos (Figura 5.8 B, D, E e F), e por isso, frágeis (Figura 5.8 C). Constatou-se que eles não suportaram o processamento para MEV, fraturando-se (Figura 5.5 A, B, C e D). Evidentemente, considerando tudo o que foi exposto, a terceira hipótese experimental foi rejeitada.

A adesão, de modo geral, depende da interação de múltiplos fatores, incluindo a energia de superfície do aderente, no caso dentina ou guta-percha; a tensão de superfície do adesivo, ou seja, do cimento endodôntico, a capacidade de molhamento desse cimento e a qualidade da limpeza das superfícies dos aderentes²⁶.

Teoricamente, a resistência de união à dentina de um sistema adesivo corresponde à somatória da resistência conferida pela adesão de superfície, pela camada híbrida e pelos prolongamentos resinosos (*tags*)⁸⁴. Em Endodontia, a resistência de união pode ser considerada uma medida indireta da adesividade dos cimentos endodônticos que, por sua vez, é considerada uma importante propriedade para manter a integridade do selamento apical^{57,58}.

Um dos métodos confiáveis para avaliação da resistência de união de cimentos endodônticos à dentina radicular é o ensaio de *push out*, recentemente denominado *micropush out*^{63,65}. Esse método utiliza espécimes de pequena espessura (± 1 mm), que propicia menor variação na distribuição de tensões durante a aplicação da carga quando comparado a ensaios com espécimes de maiores dimensões, além da facilidade de alinhamento entre o espécime e o atuador durante a realização do experimento^{60,65}.

Foi adotado o termo *micropush out* para este estudo, por se entender que expressa melhor a condição experimental utilizada, pois além da pouca espessura, o diâmetro interno dos segmentos radiculares apicais também era bastante reduzido. Vale lembrar que os segmentos radiculares foram preenchidos somente com os cimentos, portanto, a resistência de união foi avaliada entre esses e a parede

dentinária. O cimento Epiphany não foi fotoativado, ficando a sua polimerização às expensas apenas do processo de ativação do sistema peróxido-amina.

A análise estatística dos resultados do ensaio de *micropush out* identificou que a resistência de união obtida pelo grupo Epiphany *primer*/Epiphany-SC (6,3 MPa) foi estatisticamente menor do que a dos grupos AH Plus (17,8 MPa) e Epiphany *primer*/AH Plus (18,3 MPa), ($p < 0,001$). Esses resultados são confirmados por outros estudos que apresentaram repetidamente menores valores de resistência de união do cimento Epiphany^{59-61,63}. Vale ressaltar que os autores citados encontraram, para o cimento Epiphany, valores de resistência de união entre 0,5 a 1,7 MPa, muito inferiores aos observados no nosso experimento (6,3 MPa). Essa discrepância de valores poderia estar associada às diferenças metodológicas, pois aqueles estudos utilizaram o cone obturador no interior do canal radicular e, portanto, quando da aplicação da carga faziam a solicitação de duas interfaces adesivas: dentina/cimento e cimento/cone, rompendo-se a mais fraca, provavelmente essa última.

Como os segmentos radiculares, neste experimento, foram preenchidos apenas com os cimentos, a carga foi aplicada diretamente sobre o cimento. Nessas condições é razoável especular que a resistência de união do cimento à dentina seja superior a resistência de união do cimento ao cone obturador. Essa hipótese encontra respaldo nos achados de um estudo similar que mostrou valores de resistência de união dos cimentos AH Plus e Epiphany à dentina na ordem de 2 a 8 vezes maior para o canais preenchidos apenas com cimento quando comparados à técnica convencional⁶⁴.

Outra hipótese que poderia explicar o menor valor de resistência de união do cimento Epiphany seriam as falhas coesivas dentro da *smear layer* incorporada à camada híbrida. Essas falhas poderiam ser atribuídas à incompleta infiltração da *smear layer* com monômeros resinosos^{87,88}.

A análise do padrão de fraturas neste experimento identificou predominância de fraturas adesivas para todos os grupos, concordando com outros recentes estudos^{60,64,65}. Uma explicação plausível para estes resultados seria a hipótese de que a resistência coesiva dos cimentos testados seria superior à resistência de união entre cimento e dentina. Entretanto, neste estudo se observou uma tendência para falhas coesivas dentro do grupo Epiphany (44%), mostrada na Tabela 5.4, o que também já havia sido verificado em um estudo anterior⁶⁴.

No ensaio de tensão de polimerização foram simuladas as duas condições de ativação, a química que ocorre às expensas da reação peróxido-amina e a dupla ativação (química e fotoativação). As tensões geradas em decorrência da ativação química (cimento Epiphany-SC) iniciaram-se aproximadamente 20 minutos depois da espatulação como mostrado no Gráfico 5.4. A partir desse instante, ocorreu um aumento discreto e contínuo das tensões por mais 40 minutos, atingindo o valor médio de 0,32 MPa. Provavelmente esta condição experimental poderia ser representativa, na clínica, do modo de ativação exclusivamente química deste cimento nos terços médio e apical do canal radicular, onde sabidamente existe restrição à passagem da luz através do cone obturador. Observou-se que a tensão gerada decorrente da polimerização, quando da ativação também pela luz (cimento Epiphany-F) apresentou um aumento abrupto, atingindo o valor médio de 0,65 MPa, um pouco mais que o dobro do Epiphany-SC ($p < 0,05$). Esse fenômeno relaciona-se

com a elevada velocidade da reação de polimerização, propiciada pela fotoativação quando comparada à da ativação química.

Esses achados ratificam os argumentos em relação ao selamento coronário imediato proporcionado pela fotoativação do cimento Epiphany. Um deles defende a hipótese de que a polimerização imediata do cimento restringiria uma das possibilidades de liberação da tensão da contração de polimerização durante o estágio gel⁷². A outra restrição seria dada pela obstrução dos túbulos dentinários pelo Epiphany *primer* antes da inserção do cimento, o que também impediria o escape dessas tensões³⁵. Esses fatores, agravados pela forma geométrica do canal radicular, ajudariam a explicar a presença de fendas na interface dentina/cimento⁷².

Os cimentos de cura *dual* permitem uma lenta polimerização química naquelas áreas onde a luz não penetrou, o que ocorre lentamente, possibilitando dessa forma um maior grau de conversão^{69,81}. Entretanto isso não foi o observado neste estudo. Os valores médios da KHN obtido neste experimento no terço cervical representaram o máximo de dureza obtida pelo cimento (100%) após fotoativação, seguida da redução percentual da KHN em direção apical ($p < 0,001$), demonstrada pelo valor mínimo atingido que foi de 30% do valor obtido na região cervical. Esses valores podem ser considerados uma medida indireta do grau de conversão para o cimento Epiphany e parece preocupante, uma vez que a incompleta polimerização do cimento tem efeito negativo sobre suas propriedades mecânicas e estabilidade química⁸¹. Acredita-se que esses resultados poderiam responder as especulações de que a fotoativação cervical não seria suficiente para propiciar a máxima conversão de monômeros do cimento Epiphany⁷⁹. Pelo exposto, as características físicas e resistência de união dos cimentos testados à dentina têm influência sobre a formação de fendas apicais, aceitando-se a quarta hipótese experimental.

Acredita-se pelo exposto até aqui que é admissível se afirmar que as pesquisas sobre sistemas adesivos endodônticos sugerem fortemente que a adesão à dentina radicular e as propriedades mecânicas desses materiais são inadequadas e culminam em comportamento clínico insatisfatório.

Portanto, diante dos resultados deste estudo, é coerente especular que, se o cimento AH Plus possui altos valores de resistência de união, capacidade de escoamento superior às exigências da ANSI/ADA, além da já reconhecida expansão volumétrica; se foi capaz de resistir às tensões de polimerização conforme mostrado no ensaio de tensão de polimerização deste estudo, em que o valor de tensão registrado foi zero durante um período de 60 minutos, é oportuno esperar que esse material provenha boa interface de união, previna infiltração, e, conseqüentemente mostre, como, aliás, vem demonstrando, um bom desempenho clínico a curto, médio e longo prazos. Haja vista, que na maioria dos trabalhos referidos na Revisão da Literatura e mesmo nesta Discussão, o AH Plus figura como elemento controle das pesquisas.

Entretanto, a tecnologia adesiva ainda é uma promessa para aperfeiçoar as técnicas de obturações endodônticas no futuro³⁵. O desenvolvimento de sistemas adesivos capazes de não gerar tensões durante a polimerização, poderá revolucionar a Endodontia⁷². Alguns avanços já ocorreram nesse sentido. A última composição do Resilon, modificada em 2006, incorporou poliésteres dentro do cone e em sua camada externa, com ponto de fusão diferente de sua proposta inicial, almejando melhorar a resiliência desse produto para dissipar a tensão da contração de polimerização gerada pelos cimentos à base de metacrilatos, tendo em vista prover a adesão desses ao Resilon³⁵. Seguindo a mesma filosofia, já foi desenvolvida a segunda geração do sistema Epiphany, onde os componentes do *primer* foram

agregados ao cimento, eliminando o passo de condicionamento dentinário do protocolo de uso deste material¹⁰⁵, provavelmente para eliminar os inconvenientes causados pela acidez do *primer*, já mencionados neste estudo.

Mesmo não tendo mostrado desempenho superior, é recomendável que pesquisas com cimentos de características similares ao Epiphany não sejam interrompidas. Considere-se que, apenas por meio da séria e descompromissada avaliação científica, as falhas desses cimentos serão detectadas e corrigidas, até que a obtenção de um produto final, realmente capaz de tornar realidade o *sonho endodôntico* de obtenção da absoluta impermeabilização do sistema de canais radiculares seja possível.

7 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que:

1. não houve diferença entre os materiais testados, nem para a microinfiltração apical, nem para os tipos de fendas;
2. a interação entre os níveis de microinfiltração e a frequência global de fendas revelou diferença estatística significativa;
3. houve discrepância entre a profundidade de desmineralização dentinária e a espessura da camada híbrida;
4. a formação de longos *tags* ou *plugs* apicais foi influenciada pelo padrão de condicionamento e pelos valores de escoamento dos cimentos testados;
5. os valores médios de tensão de polimerização dos cimentos testados foram inversamente proporcionais aos valores de resistência de união;
6. os valores médios de microdureza Knoop para o cimento Epiphany decresceram acentuadamente de cervical para apical;
7. os valores de resistência de união dos materiais testados foram inversamente proporcionais ao percentual de frequência de fendas apicais.

REFERÊNCIAS¹

1. Dow PR, Ingle JI. Isotope determination of root canal failure. *Oral Surg* 1955;(8):1100-4.
2. Ingle JI. Existos y fracasos en endodoncia. *Rev Assoc Odontol Argent* 1962; 2(1): 50-67.
3. Sjögren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod* 1990;16:498-504.
4. Ray HA, Trope M. Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *Int Endod J* 1995;28:12-8.
5. De Moor RJ, Hommez GM, De Boever JG, Delme KI, Martens GE. Periapical health related to the quality of root canal treatment in a Belgian population. *Int Endod J* 2000; 32(2):113-20.
6. Kirkevang LL, Hørsted-Bindslev P, Ørstavik D, Wenzel A. Frequency and distribution of endodontically treated teeth and apical periodontitis in an urban Danish population. *Int Endod J* 2001;34(3):198-205.
7. Hoskinson SE, Ng YL, Hoskinson AE, Moles DR, Gulabivala K. A retrospective comparison of outcome of root canal treatment using two different protocols. *Oral Surg* 2002;93:705-15.
8. Jimenez-Pinzon A, Segura-Egea JJ, Poyato-FerreraM, Velasco-Ortega E, Rios-Santos JV. Prevalence of apical periodontites and frequency of root-filled teeth in an adult Spanish population. *Int Endod J* 2004;37(3):167-73.
9. Grossman LI. Physical properties of root canal cements. *J Endod* 1976;2:166-75.
10. Limkangwalmongkol S, Burtscher P, Abott PV, Sandler AB, Bishop BM. A comparative study of the apical leakage of four root canal sealers and laterally condensed gutta-percha. *J Endod* 1991;17:495-9.

¹ De acordo com Estilo Vancouver. Abreviatura de periódicos segundo base de dados MEDLINE.

11. De Almeida WA, Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Silva LAB. Evaluation of apical sealing of three endodontic. *Int Endod J* 2000;33:25-7.
12. Leonardo MR, Silva LAB, Almeida WA, Utrilla LS. Tissue response to an epoxy resin-based root canal sealer. *Endod Dent Traumatol* 1999;15:28.
13. Zidan O, Eldeeb ME. The use of a dentinal bonding agent as a root canal sealer. *J Endod* 1985;11(4):176-8.
14. Zidan O, Al-Khatib Z, Gomez-Marin O. Obturation of root canals using the single cone gutta-percha technique and dentinal bonding agents. *Int Endod J* 1987;20(3):128-32.
15. Rawlinson A, England S. Sealing root canals with low-viscosity resins in vitro: scanning electron microscopy study of canal cleansing and resin adaption. *Oral Surg* 1989;68(3):330-8.
16. Leonard JE, Gutmann JL, Guo IY. Apical and coronal seal of roots obturated with a dentine bonding agent and resin. *Int Endod J* 1996; 29(2):76-83.
17. Mannocci F, Ferrari M. Apical seal of roots obturated with laterally condensed gutta-percha, epoxy resin cement and dentin bonding agent. *J Endod* 1998; 24(1):41-4.
18. Mannocci F, Innocenti M, Ferrari M. Steriomicroscopic and scanning electron microscopic study of roots obturated with vertically condensed gutta-percha, epoxy resin cement and dentin bonding agent. *J Endod* 1998;24(6):397-400.
19. Ahlberg KMF, Tay WM. A methacrylate-based cement used as a root sealer. *Int Endod J* 1998;31(1):15-21.
20. Imai Y, Komabayashi T. Properties of a new injectable type of root canal filling resin with adhesiveness to dentin. *J Endod* 2003;29(1):20-3.
21. Economides N, Kokorikos I, Kolokouris I, Panagiotis B, Gogos C. Comparative study of apical sealing ability of a new resin-based root canal sealer. *J Endod* 2004;30(6):403-5.

22. Gogos C, Economides N, Stavrianos C, Kolokouris I, Kokorikos I. Adhesion of a new methacrylate resin-based sealer to human dentin. *J Endod* 2004;30(4):238-40.
23. Kardon BP, Kuttler S, Hardigan P, Dorn SO. An in vitro evaluation of the sealing ability of a new root-canal obturation system. *J Endod* 2003;29(10):658-61.
24. Sevimay S, Kalaci A. Evaluation of apical sealing ability and adaptation to dentine of two resin-based sealers. *J Oral Rehabil* 2005;32:105-10.
25. Tay FR, Loushine RJ, Monticelli F, Weller RN, Breschi L, Ferrari M, et al. Effectiveness of resin-coated gutta-percha cones and a dual-cured, hydrophilic methacrylate resin-based sealer in obturating root canals. *J Endod* 2005;31(9):659-64.
26. Eldeniz AU, Erdemir A, Belli S. Shear bond strength of three resin based sealers to dentin with and without the smear layer. *J Endod* 2005;31(4):293-6.
27. Schwartz RS. Adhesive dentistry and endodontics. Part 2: Bonding in the root canal system—The promise and the problems: A review. *J Endod* 2006;32(12):1125-34.
28. Maggio JD. RealSeal—the real deal. *Compend Contin Educ Dent* 2004;25(10A):834-6.
29. Shipper G, Ørstavik D, Teixeira FB, Trope M. An evaluation of microbial leakage in roots filled with a Thermoplastic Synthetic Polymer-Based root canal filling material (Resilon). *J Endod* 2004;30(5):342-7.
30. Shipper G, Teixeira FB, Arnold RR, Trope M. Periapical inflammation after coronal microbial inoculation of dog roots filled with Gutta-percha or Resilon. *J Endod* 2005; 31(2): 91-6.
31. Tunga U, Bodrumlu E. Assessment of the sealing ability of a new root canal obturation material. *J Endod* 2006;32(9):1-3.
32. Veríssimo DM, Vale MS, Monteiro AJ. Comparison of apical leakage between canals filled with gutta-percha/AH Plus and the Resilon/Epiphany system, when submitted to two filling techniques. *J Endod* 2007;33(3):291-4.

33. Biggs SG, Knowles KI, Ibarrola JL, Pashley DH. An in vitro assessment of the sealing ability of Resilon/Epiphany using fluid filtration. *J Endod* 2006;32(8):759-61.
34. Stratton RK, Apicella MJ, Mines P. A fluid filtration comparison of gutta-percha versus Resilon, a new soft resin endodontic obturation system. *J Endod* 2006;32(7):642-5.
35. Raina R, Loushine RJ, Weller RN, Tay FR, Pashley DH. Evaluation of the quality of the apical seal in Resilon/Epiphany and gutta-percha/AH Plus-filled root canals by using a fluid filtration approach. *J Endod* 2007;33(8):944-7.
36. Paqué F, Sirtes G. Apical sealing ability of Resilon/Epiphany versus gutta-percha/AH Plus: immediate and 16-months leakage. *Int Endod J* 2007;40:722-9.
37. 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.
38. Tay FR, Pashley DH. Water treeing—a potential for degradation of dentin adhesives. *Am J Dent* 2003;16:6-12.
39. Ito S, Hashimoto M, Wadgonkar B, Svizero N, Carvalho RM, Yiu C et al. Effect of resin hydrophilicity on water sorption and changes in modulus of elasticity. *Biomaterials* 2005;26:6449-59.
40. Malacarne J, Carvalho RM, de Goes MF, Svizero V, Tay FR, Pashley DH. Water sorption/solubility of dentinal adhesives resins. *Dent Mater* 2006;22:973-80.
41. Breshi L, Mazzoni A, Ruggeri A, Cadenara M, Di Leonarda R, Dorigo ES. Dental adhesion review: Aging and stability of the bonded interface. *Dent Mater* 2007;doi:10.1016/j.dental.2007.02.009. No prelo.
42. Tay FR, Pashley DH, Yiu CKY, Yau JYY, Yiu-fai M, Loushine RJ, et al. Susceptibility of a polycaprolactone-based root canal filling material to degradation. II. Gravimetric evaluation of enzymatic hydrolysis. *J Endod* 2005;31(10):737-41.

43. Hiraishi N, Yau JYY, Loushine RJ, Armstrong SR, Weller RN, King NM, et al. Susceptibility of a polycaprolactone-based root canal filling material to degradation. III. Turbidimetric evaluation of enzymatic hydrolysis. *J Endod* 2007;33(8):952-6.
44. Tay FR, Pashley DH, Williams MC, Raina R, Loushine RJ, Weller RN, et al. Susceptibility of a polycaprolactone-based root canal filling material to degradation. I. Alkaline hydrolysis. *J Endod* 2005;31(8):593-8.
45. Kalachandra S, Turner DT. Water sorption of polymethacrylate networks: bis-GMA/TEGDMA copolymers. *J Biomed Mater Res* 1987;21:329-38.
46. Donnelly A, Sword J, Nishitani Y, Yoshiyama M, Agee K, Tay FR, et al. Water sorption and solubility of methacrylate resin-based root canal sealers. *J Endod* 2007; 33(8):990-4.
47. Versiani MA, Carvalho-Júnior JR, Padilha MIAF, Lacey S, Pascon EA, Sousa-Neto MD. A comparative study of physicochemical properties of AH Plus and Epiphany root canal sealants. *Int Endod J* 2006;39:464-71.
48. Sano H, Shono T, Takatsu T, Hosoda H. Microporous dentin zone beneath resin-impregnated layer. *Oper Dent* 1994;19(2):59-64.
49. Sano H, Takatsu T, Ciucchi B, Horner JA, Matthews WG, Pashley DH. Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. *Oper Dent* 1995;20(1):18-25.
50. Sano H, Yoshiyama M, Ebisu S, Burrow MF, Takatsu T, Ciucchi B, et al. Comparative SEM and TEM observations of nanoleakage within the hybrid layer. *Oper Dent* 1995;20(4):160-7.
51. Carvalho RM, Chersoni S, Frankenberger R, Pashley DH, Prati C, Tay FR. A challenge to the conventional wisdom that simultaneous etching and resin infiltration always occurs in self-etch adhesives. *Biomaterials* 2005;26:1035-42.
52. Epley SR, Fleischman J, Hartwell G, Cicalese C. Completeness of root canal obturations: Epiphany techniques versus gutta-percha techniques. *J Endod* 2006;32(6):541-4.

53. James BL, Brown CE, Legan JJ, Moore BK, Vail MM. An in vitro evaluation of the contents of root canals obturated with gutta-percha and AH-26 sealer or Resilon and Epiphany sealer. *J Endod* 2007;doi:10.1016/j.joen.2007.07.021. No prelo.
54. Gulsahi K, Cehreli ZC, Onay EO, Tasman-Dagli F, Ungor M. Comparison of the area of resin-based sealer and voids in roots obturated with Resilon and gutta-percha. *J Endod* 2007;doi:10.1016/j.joen.2007.06.015. No prelo.
55. Gharib SR, Tordik PA, Imamura GM, Baginski TA, Goodell GG. A confocal laser scanning microscope investigation of the Epiphany obturation system. *J Endod* 2007;33(8):957-61.
56. Tay FR, Loushiane 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* 2005;31(7):514-9.
57. Tagger M, Tagger E, Tjan AHL, Bakland LK. Measurement of adhesion of endodontic sealers to dentin. *J Endod* 2002;28(5):351-4.
58. Tagger M, Tagger E, Tjan AHL, Bakland LK. Shearing bond strength of endodontic sealers to gutta-percha. *J Endod* 2003;29(3):191-3.
59. Gesi A, Raffaelli O, Goracci C, Pashley, DH, Tay FR, Ferrari, M. Interfacial strength of resilon and gutta-percha to intraradicular dentin. *J Endod* 2005;31(11):809-13.
60. Ungor M, Onay EO, Orucoglu, H. Push out bond strengths: the Epiphany-resilon endodontic obturation system compared with different pairings of epiphany, Resilon, AH Plus and gutta-percha. *Int Endod J* 2006;39:643-7.
61. Sly MM, Moore BK, Platt JA, Brown CE. Push-out bond strength of a new endodontic obturation system (Resilon/Epiphany). *J Endod* 2007;33(2):160-2.
62. Ørstavik D, Inger N, Tibballs JE. Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mater* 2001;17:512-9.
63. Fisher MA, Berzins DW, Bahcall JK. An in vitro comparison of bond strength of various obturation materials to root canal dentin using a push out test design. *J Endod* 2007;33(7):856-8.

64. Jainaen A, Palamara JEA, Messer HH. Pus-out bond strengths of the dentine-sealer interface with and without a main core. *Int Endod J* 2007;40:882-90.
65. Skidmore JJ, Berzins DW, Bahcall JK. An in vitro comparison of the intraradicular dentin bond strength of Resilon and gutta-percha. *J Endod* 2006;32(10):963-6.
66. Bowen RL. Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissues. VI. Forces developing in direct-filling materials during hardening. *J Am Dent Assoc* 1967;74(3):439-45.
67. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Setting stresses in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res* 1987;66:1636-9.
68. Carvalho RM, Pereira JC, Yoshiyama M, Pashley DH. A review of polymerization contraction: The influence of stress development versus stress relief. *Oper Dent* 1996;21(1):17-24.
69. Braga RR, Ferracane JL. Alternatives in polymerization contraction stress management. *Crit Rev Oral Biol Med* 2004;15(3):176-84.
70. Peutzfeldt A, Asmussen E. Determinants of in vitro gap formation of resin composites. *J Dent* 2004;32:109-15.
71. Braga RR, Ballester RY, Ferracane JL. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: A systematic review. *Dent Mater* 2005;21:962-70.
72. Tay FR, Loushiane RJ, Lambrechts P, Weller RN, Pashley DH. Geometric factors affecting dentin bonding in root canals; a theoretical modeling approach. *J Endod* 2005;31(8):584-9.
73. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Increased wall-to-wall curing contraction in thin bonded resin layers. *J Dent Res* 1989;68(1):48-50.
74. Alster D, Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Polymerization contraction stress in thin resin composite layers as a function of layer thickness. *Dent Mater* 1997;13(3):146-50.

75. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR. Effect of tubule orientation in the cavity wall on the seal of dental filling materials: an in vitro study. *Int Endod J* 1998; 31(5):326-32.
76. Ferrari M, Mannocci F, Vichi A, Cagidiaco M, Mjör IA. Bonding to root canal: structural characteristics of the substrate. *Am J Dent* 2000;13(5)255-60.
77. Mjör IA, Smith MR, Ferrari M, Mannocci F. The structure of dentine in the apical region of human teeth. *Int Endod J* 2001;34:346-53.
78. Franco EB, Lopes LG, D'Alpino PHP, Pereira JC. Influence of pH of different adhesive systems on the polymerization of a chemically cured composite resin. *Braz Dent J* 2005;16(2):107-11.
79. Almeida JFA, Gomes BPFA, Ferraz CCR, Souza-Filho FJ, Zaia AA. Filling of artificial lateral canals and microleakage and flow of five endodontic sealers. *Int Endod J* 2007;40:692-9.
80. Ferracane JL. Correlation between hardness and degree conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent mater* 1985;1:11-4.
81. Braga RR, Cesar PF, Gonzaga CC. Mechanical properties of resin cements with different activation modes. *J Oral Rehabil* 2002;29:257-62.
82. Perdigão J, Lambrechts P, van Meerbeek B, Tomé AR, Vanherle G, Lopes AB. Morphological field emission SEM study of the effect of six phosphoric acid etching agents on human dentin. *Dent Mater* 1996;12(4):262-71.
83. Perdigão J, May KN, Wilder AD, Lopes M. The effect of depth of dentin demineralization on bond strengths and morphology of the hybrid layer. *Oper Dent* 2000;25(3):186-94.
84. Pashley DH, Ciucchi B, Sano H, Carvalho RM, Russel CM. Bond strength versus dentine structure: a modelling approach. *Arch Oral Biol* 1995;40(12):1109-18.
85. Miyasaka K, Nakabayashi N. Combination of EDTA conditioner and Phenyl-P/HEMA self-etching primer for bonding to dentin. *Dent Mater* 1999;15:153-7.

86. Koibuchi H, Yasuda N, Nakabayashi N. Bonding to dentin with a self-etch primer: the effect of smear layers. *Dent Mater* 2001;17(2):122-6.
87. Tay FR, Sano H, Carvalho R, Pashley EL, Pashley DH. An ultrastructural study of the influence of acidity of self-etching primer and smear layer thickness on bonding to intact dentin. *J Adhes Dent* 2000;2(2):83-98.
88. Tay FR, Pashley DH. Agressiveness of contemporary self-etching systems: I. Depth of penetration beyond dentin smear layer. *Dent Mater* 2001;17(4):296-308.
89. American National Standard/American Dental Association. Council on Scientific Affairs 2000. Specification N° 57 for Endodontic Sealing Material. Chicago. Illinois, USA; 2000.
90. Watts DC, Cash AJ, Chauhan J, Rathore S. Variables influencing hardness development in dual-cure composite luting materials (Abstract n° 115). *J Dent Res* 1994;73:801.
91. El-Mowafy OM, Rubo MH, El-Badrawy WA. Hardening of new resin cements cured through a ceramic inlay. *Oper Dent* 1999;24:38.
92. Habitate SM. Análise in vitro da infiltração marginal apical do corante azul-de-metileno, quando da obturação do canal radicular diante da variação dos métodos de secagem [Tese de Doutorado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 1996.
93. Marshall, FS, Pappin J. A crown-down pressureless preparation root canal enlargement technique. *Technique manual. Oral Health Sci Univ* 1980;2:152-5.
94. Ingle II, Taintor JF. *Endodontia*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara; 1989.195-263.
95. Wu W, Coob E, Dermann K. Detecting margin leakage of dental composite restorations. *J Biomed Mater Res* 1983;17(1):37-43.
96. Perdigão J, Lopes MM, Gomes GG. Interfacial adaptation of adhesive materials to root canal dentin. *J Endod* 2007;33(3):259-63.

97. Hashimoto M, De Munck J, Ito S, Sano H, Kaga M, Oguchi H, et al. In vitro effect of nanoleakage expression on resin-dentin bond strengths analyzed by microtensile bond test, SEM/EDX and TEM. *Biomaterials* 2004;25:5565-74.
98. Perdigão J, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Vanherle G, Lopes ALB. Field emission SEM comparison of four postfixation drying techniques for human dentin. *J Biomed Mater Res* 1995;29(9):1111-20.
99. Kenshima S, Francci C, Reis A, Loguécio AD, Rodrigues Filho LE. Conditioning effect on dentin, resin tags and hybrid layer of different acidity self-etch adhesives applied to thick and thin smear layer. *J Dent* 2006;34:775-83.
100. Skelton Macedo MC, Cardoso RJA, Bombana AC. A simplified transversal cut system to study root canal morphology and instrumentation techniques. *Endod Clin Pract Educ Res* 1999;1(2):1-5.
101. Hosmer Jr DW, Lemeshow S. *Applied logistic regression*. New York: John Wiley & Sons; 1989.
102. Greenacre MJ. *Correspondence analysis in practice*. London: Chapman & Hall; 2007.
103. Bussab WO, Morettin PA. *Estatística básica*. São Paulo: Editora Saraiva; 2002.
104. Kenshima S, Reis A, Uceda-Gomez N, Tancredo LLF, Rodrigues Filho LE, Nogueira FN et al. Effect of smear layer thickness and pH of self-etching adhesive systems on the bond strength and gap formation to dentin. *J Adhes Dent* 2005;7(2):117-26.
105. Material safety data sheet. Epiphany SE Root Canal Sealant. Disponível em [URL:http://www.pentron.com/pentron/PDFLoader.cfm](http://www.pentron.com/pentron/PDFLoader.cfm) [18 out. 2007].

APÊNDICE A – Tabelas com os dados originais

Tabela 1 - Número de dentes com infiltração apical do AgNO₃ nos 5 mm apicais para cada grupo experimental

Grupo	n	Infiltração do AgNO ₃				
		1º mm	2º mm	3º mm	4º mm	5º mm
AH Plus	11	4	1	0	0	0
AHPrimer	11	5	2	0	0	0
Epiphany	11	6	3	3	1	1

AH Plus: (AH Plus + guta-percha); AH Primer: (Epiphany *primer* + AH Plus + guta-percha); Epiphany: (sistema Epiphany)

Tabela 2 - Número de dentes com fendas nos 5 mm apicais para cada grupo experimental

Grupo	n	Fendas apicais				
		1º mm	2º mm	3º mm	4º mm	5º mm
AH Plus	11	4	4	3	1	1
AH Primer	11	6	6	2	1	5
Epiphany	11	9	9	9	9	5

AH Plus: (AH Plus + guta-percha); AH Primer: (Epiphany *primer* + AH Plus + guta-percha); Epiphany: (sistema Epiphany)

APÊNDICE B - Quadro com os dados originais de infiltração e fendas nos 5 mm apicais para cada grupo experimental

Dente	Grupos	Ag1	Ag2	Ag3	Ag4	Ag5	F1	F2	F3	F4	F5	
1	AH Plus	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	
2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7		0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0
8		1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
11		0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0
1	AH Primer	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
2		0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	
3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
6		0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
7		1	0	0	0	0	0	2	3	0	0	2
8		1	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0
9		1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
10		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11		1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1	Epiphany	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	
2		1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4		0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0
5		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
6		1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
7		1	0	0	0	0	0	2	2	1	1	1
8		0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0
9		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10		1	1	1	0	0	0	3	1	1	2	0
11		1	1	1	0	0	0	2	1	1	1	1

AH Plus (AH Plus/Guta-percha); **AH Primer** (Epiphany primer/AH Plus/Guta-percha); **Epiphany** (sistema Epiphany). **Ag 1**: infiltração de AgNO₃ no 1º mm. **0** (ausência de infiltração); **1** (presença de infiltração). **F1**: frequência de fenda no 1º mm; **0** (ausência de fenda); **1** (fenda entre o cimento e a dentina); **2** (fenda entre o cimento e o cone); **3** (fenda dos dois tipos)

APÊNDICE C - Mensuração do pH e curva de titulação do Epiphany *primer*

A curva de titulação foi realizada pela adição sucessiva de 5×10^{-5} mL de NaOH (0,1 N) a 1,0 mL da solução do Epiphany *primer*. Após cada adição do NaOH, a solução era misturada e medido o pH (pH meter, Model E 520, Metrohm Herisal, Suíça). Esse procedimento foi repetido até o momento em que a solução obteve um pH próximo de 6. A medida do pH inicial e o volume máximo de NaOH necessário para atingir o pH de sua capacidade tampão estão na Tabela 3.

Tabela 3 - pH inicial e capacidade tampão do Epiphany *primer*

pH inicial	Capacidade tampão (pH)	Volume NaOH (0,1 N x 10^{-5} mL)
0,3	4,0 a 5,0	0,05 – 0,25

A curva de titulação do Epiphany *primer* está apresentada no Gráfico 1. Embora tenha um pH inicial considerado muito ácido quando comparado a outros sistemas *self-etch* comerciais, ele se comporta como um *self-etching primer* de acidez fraca, observação constatada pelo aumento abrupto do pH de 0,3 a 4,0; mostrando a partir daí, uma velocidade lenta do aumento do pH de 4,0 para 5,0, quando alcançou sua capacidade tampão (Gráfico 2).

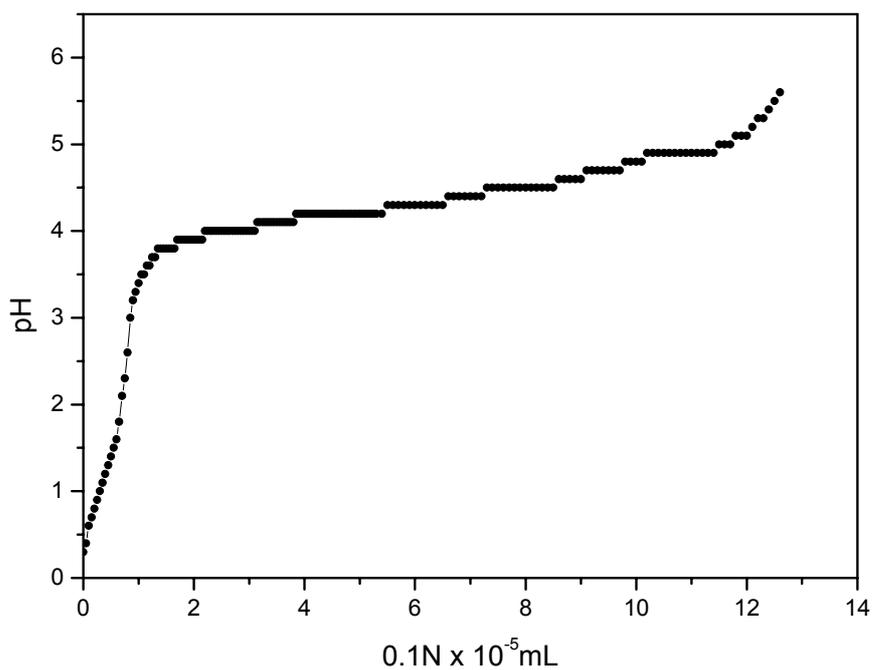


Gráfico 1 - Curva de titulação do Epiphany *primer*

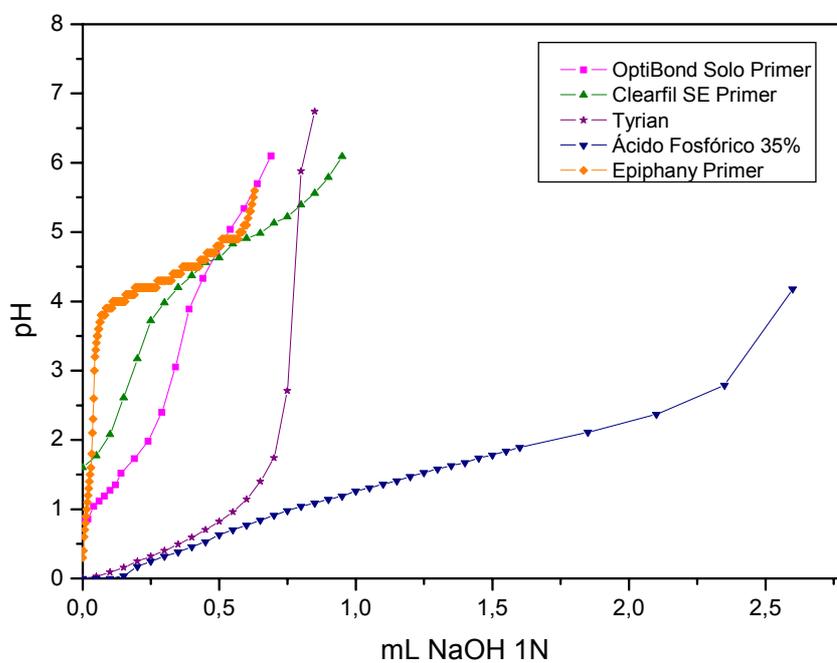


Gráfico 2 - Comparação de curvas de titulação de diferentes *self-etching primers* e do ácido fosfórico à do Epiphany *primer*. pH inicial e potencial em manter o pH baixo após acréscimos sucessivos de NaOH¹⁰⁴

APÊNDICE D - Remoção da matriz orgânica do cimento Epiphany para mensuração do conteúdo da carga inorgânica

Foram dissolvidos 0,15 g de cimento Epiphany em 20 mL de acetona P.A., levados ao ultra-som por 1 minuto para completa homogeneização da suspensão e dissolução da matriz orgânica. Foram coletados 20 μ L da suspensão e dispensados sobre *stubs* de alumínio. Após secagem em temperatura ambiente as partículas da carga foram metalizadas com uma camada de aproximadamente 10 nm de platina e observadas em MEV. Os componentes inorgânicos foram mensurados em *software* acoplado ao Microscópio Eletrônico de Varredura LEO 440.

A Tabela 4 mostra o percentual de peso, os elementos químicos detectados por EDS e a variação do tamanho das partículas da carga inorgânica do cimento Epiphany.

Tabela 4 - Caracterização da carga inorgânica do cimento Epiphany

Fabricante (Lote)	Conteúdo (% peso)*	Elementos	Tamanho das partículas
Pentron Clinical Technologies, LLC. (149468)	$\geq 50\%$	Al, Si, Ca Bi, Cl Ba, S, O	292 nm-20,31 μ m

* informação do fabricante

A observação do conteúdo da carga inorgânica em MEV (elétrons secundários e retroespalhados), mostrou a variabilidade do tamanho das partículas, algumas com aparência granular, outras sob a forma de placas delgadas (Figura 1 A e B), e identificou-se os seus elementos químicos por EDS (Figura 1 C e D).

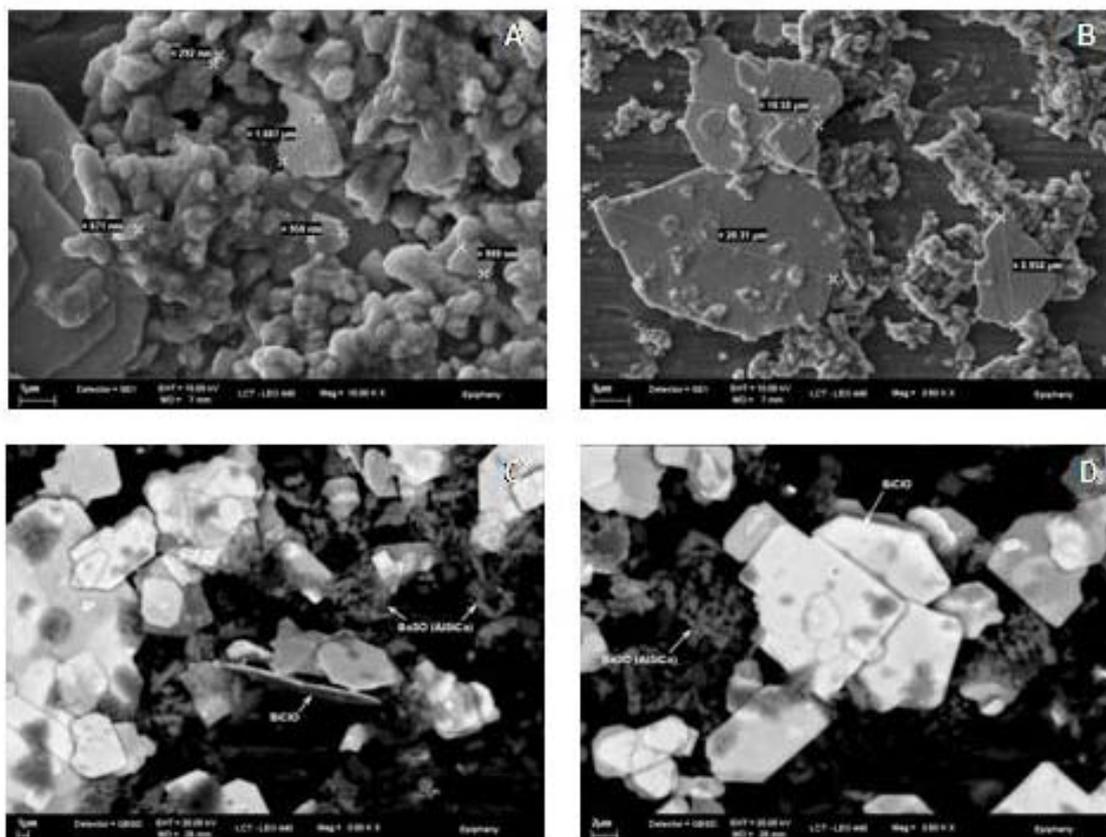


Figura 1 - Conteúdo da carga inorgânica: (A e B) – tamanho das partículas; (C e D) – identificação dos elementos químicos por EDS.

ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**
FACULDADE DE ODONTOLOGIA**PARECER DE APROVAÇÃO**
Protocolo 177/05

O Grupo de Trabalho indicado pelo Comitê de Ética em Pesquisa, **APROVOU** o protocolo de pesquisa "*Estudo in vitro da microinfiltração marginal apical e cervical de cimentos resinosos endodônticos e da morfologia da interface adesiva*", de responsabilidade da Pesquisadora **Soraia de Fátima Carvalho Souza**, sob orientação do Professor Doutor **Carlos Eduardo Francci**.

Tendo em vista a legislação vigente, devem ser encaminhados a este Comitê relatórios anuais referentes ao andamento da pesquisa e ao término cópia do trabalho em "cd". Qualquer emenda do projeto original deve ser apresentada a este CEP para apreciação, de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas.

São Paulo, 03 de novembro de 2005

Prof. Dr. Rogério Nogueira de Oliveira
Coordenador do CEP-FOUSP