

ANA PAULA RIBEIRO DO VALE PEDREIRA

**AVALIAÇÃO MICROTOMOGRÁFICA E DA RESISTÊNCIA DE UNIÃO DE
CIMENTOS RESINOSOS AUTO-ADESIVOS À DENTINA INTRA-RADICULAR**

BRASÍLIA, 12 DE FEVEREIRO DE 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE

ANA PAULA RIBEIRO DO VALE PEDREIRA

**AVALIAÇÃO MICROTOMOGRÁFICA E DA RESISTÊNCIA DE UNIÃO DE
CIMENTOS RESINOSOS AUTO-ADESIVOS À DENTINA INTRA-RADICULAR**

**Tese apresentada como requisito parcial para a
obtenção do Título de Doutor em Ciências da
Saúde pelo Programa de Pós-Graduação em
Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.**

Orientadora: Profa Dra Fernanda Cristina Pimentel Garcia

BRASÍLIA

2015

ANA PAULA RIBEIRO DO VALE PEDREIRA
AVALIAÇÃO MICROTOMOGRÁFICA E DA RESISTÊNCIA DE UNIÃO DE
CIMENTOS RESINOSOS AUTO-ADESIVOS À DENTINA INTRA-RADICULAR

**Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção
do Título de Doutor em Ciências da Saúde pelo Programa
de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da
Universidade de Brasília.**

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Fernanda Cristina Pimentel Garcia

Componente da banca (presidente) - Universidade de Brasília

Jacy Ribeiro de Carvalho Junior

Componente da banca - Universidade de Brasília

Taia Maria Berto Rezende

Componente da banca - Universidade de Brasília

Linda Wang

Componente da banca - Universidade de São Paulo

Antonio Ramos Neto

Componente da banca - Universidade Católica de Brasília

Dedico este trabalho...

À Gabriela, que nem veio ao mundo e já torna nossas vidas mais felizes.

AGRADECIMENTOS

A Deus,

Por trabalhar de forma incessante Seus ensinamentos em minha vida, às vezes de maneira sutil e delongada, mas sempre oportuna.

Aos meus pais, João Arildo e Maria Antonia, irmãos Caio, Raíssa e Tássia, e sobrinhos Cauan e Lara. Cada um de vocês, a sua maneira, me ensina os reais valores da vida e me proporciona oportunidades incríveis de crescimento, em todos os sentidos. Amo vocês.

Ao Rander, por seu amor, dedicação, cumplicidade, amizade e apoio. Você é uma inspiração para que eu me torne uma pessoa melhor a cada dia.

À Universidade de Brasília, instituição que me acolheu quando de minha chegada a cidade, e me proporcionou grande crescimento pessoal e profissional.

À Universidade Católica de Brasília, que me permitiu exercitar a docência da maneira mais completa e humana que já havia experimentado. Instituição que me proporcionou grandes amizades e parcerias, as quais certamente levarei por toda a vida.

À Professora Fernanda Garcia,

Pelo respeito e confiança em meu trabalho. Muito Obrigada.

Às Professoras Linda Wang e Patrícia Pereira,

Pelos ensinamentos, orientações e pelas valiosas contribuições científicas a este trabalho.

Aos professores Júlio Lemos de Macedo, José Alexander Araújo, Sasha Braun Chaves e Leandro Hilgert, pelas sugestões, ensinamentos, apoio e solidariedade durante diversas etapas dos experimentos.

Aos colegas Ana Luísa de Sousa e Gustavo Rivera, pelo auxílio durante os testes de microtomografia e microtração.

Ao professor Antonio Ramos Neto, pela convivência enriquecedora, fonte de inspiração para minha caminhada na graduação, na pós graduação e na vida pessoal.

Às queridas amigas Cláudia Furlan Felício, Kelly Machado e Raquel Lanna Passos, que dividiram comigo alegrias, conquistas e ansiedades durante esta etapa. A amizade de vocês deixa meus dias muito mais leves e felizes.

À Rosângela Macedo e Thaís Odísio, pela amizade, comprometimento e diretrizes pessoais e profissionais, fundamentais nesta caminhada. Minha admiração por vocês é imensurável.

À Thays Magny, pela sua dedicação, comprometimento, amizade, e pelo auxílio na formatação deste trabalho.

À Finatec, pelo apoio financeiro à pesquisa.

Às funcionárias da pós graduação da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.

A todos os familiares, amigos e colegas não mencionados, mas que de alguma forma e em algum momento contribuíram e me apoiaram durante esta etapa, meus sinceros agradecimentos.

*E aquele que não morou nunca em seus próprios abismos,
nem andou em promiscuidade com os seus fantasmas,
não foi marcado.
Nunca será exposto às fraquezas,
ao desalento, ao amor, ao poema.*

(Manoel de Barros)

RESUMO

Introdução: Atualmente, o conhecimento acerca da interação dos cimentos auto-adesivos com a dentina intra-radicular é escasso. Informações detalhadas sobre a linha de cimentação e a interação com o substrato podem trazer dados preciosos na busca de uma união mais efetiva. Objetivo: Analisar a linha de cimentação de três cimentos resinosos auto-adesivos e um resinoso dual convencional em dentina intra-radicular, por meio de microtomografia e do teste de *push-out*. Método: Três cimentos auto-adesivos (U100/3M ESPE, Maxcem/Kerr, Clearfil SA Bond/Kuraray) e um cimento resinoso dual convencional (Rely X ARC/3M ESPE) foram testados usando 2 técnicas de cimentação. O percentual de bolhas e a resistência de união foram quantificados de acordo com a técnica e os terços. 40 raízes de pré-molares humanos foram desobturadas na profundidade de 10mm. O cimento resinoso foi manipulado de acordo com a recomendação do fabricante. A inserção do cimento seguiu as orientações dos fabricantes para os grupos A e, para os grupos B, 40 pinos de fibra foram cimentados com o auxílio da ponta agulha de uma seringa centrix. As raízes foram escaneadas em um microtomógrafo e a linha de cimento foi analisada pelos softwares DataViewer, CTan, CTvol e CTvox. Após 07 dias, as raízes foram seccionadas perpendicularmente ao longo eixo e submetidas ao teste de extrusão. Os dados foram submetidos a ANOVA 3 critérios e Teste de Tukey. Resultados e Conclusão: A análise microtomográfica mostrou menor número de bolhas para os grupos B. A resistência de união foi significativamente maior para os auto-adesivos quando a seringa centrix foi utilizada ($p < 0,0001$). A resistência de união decresceu em direção apical, independentemente da técnica e da distribuição das bolhas. Não houve relação entre os valores de resistência de união e a localização e volume de bolhas. A microtomografia mostrou-se um método eficaz na visualização e quantificação de bolhas na linha de cimentação. Palavras-chave: cimentos auto-adesivos, resistência de união, pinos de fibra, Microtomografia.

ABSTRACT

Introduction: Currently, the knowledge about self-adhesive resin cements interaction with intraradicular dentin is scarce. Detailed information about the cement line and the interaction with the substrate can bring precious data for a more effective union. **Purpose:** to analyze the cement line of three self-adhesive resin cements and a conventional dual resin in intraradicular dentin through MicroCT analysis and push-out tests. Three self-adhesive cements (U100 / 3M ESPE, Maxcem / Kerr, Clearfil SA Bond / Kuraray) and a conventional dual resin cement (Rely X ARC / 3M ESPE) were tested using 2 luting techniques. The percentage of bubbles and the bond strength were measured according to technique and radicular thirds. **Methods:** 40 roots of human premolars were restored in a depth of 10mm. Cement was mixed according to manufacturer's recommendation. The cement insertion followed the manufacturers guidelines for A and B groups; however, for B groups, fiber posts were cemented using a centrix syringe. The roots were scanned in Skyscan 1076 and the cement line was analyzed by DataViewer, CTan, CTvol and CTvox softwares. The roots were sectioned after 7 days, perpendicular to the long axis and subjected to push-out test. 3 way ANOVA and Tukey test were used. **Results and Conclusion:** The MicroCT analysis showed fewer bubbles for B groups. Bond strength was significantly higher for U100, Maxcem and Clearfil SA Cement when centrix syringe was used ($p < 0.0001$). The bond strength decreased in apical direction, regardless of cementation technique and bubbles location. There was no relationship between the bond strength values and bubbles location and volume. MicroCT proved to be an effective method for visualization and quantification of bubbles in the cement line. **Key words:** self-adhesive cements, bond strength, fiber posts, X-Ray Microtomography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Raízes sendo escaneadas no microtomógrafo Skyscan 1076 MicroCT.....	39
Figura 2 - Reconstrução de secção longitudinal pelo software NRecon.....	39
Figura 3 - Tratamento das imagens no Dataviewer: (a): imagem original; (b): seleção de cores, contraste e saturação para melhor identificação de artefatos.....	40
Figura 4 - Mapeamento da região de interesse (ROI) por meio do software CTan.....	41
Figura 5 - Ajuste do contraste na região de interesse para identificação dos espaços vazios.....	41
Figura 6 - Inversão da seleção na região de interesse.....	42
Figura 7 - Imagem de raiz reconstruída por meio do software CTvox.....	43
Figura 8 - Imagem de raiz reconstruída por meio do software CTvol: (a): configuração do software para criação de vídeo; (b): detalhe (frame ou quadro) do vídeo onde se visualiza apenas o volume de bolhas e espaços vazios, tendo sido removidos resina e dentina.....	43
Figuras 9 - Técnica de corte para obtenção das fatias: (a) seccionamento da raiz em 9 fatias; (b): remoção cuidadosa de uma fatia para teste de <i>push-out</i>	44
Figura 10 - Raízes seccionadas e demarcadas para o teste de <i>push-out</i>	44
Figura 11 - Posicionamento da raiz sobre a mesa perfurada para o teste.....	45

Figura 12 - Carga sendo aplicada sobre a superfície do pino por meio do punção metálico.....	46
Figura 13 - Espécime após o teste de <i>push-out</i> , exibindo o pino extruído.....	46
Figura 14 - Desenho esquemático da secção do pino para cálculo de área.....	46
Figura 15 a,b,c,d - Reconstrução de seção transversal (a,b) longitudinal (c,d) de espécime Rely X ARC pelo software NRecon.....	48
Figura 16 - Imagem de espécime do grupo U100 - A obtida por meio do software CTvox.....	49
Figura 17 - Imagem de espécime do grupo U100 - B obtida por meio do software CTvox.....	49
Figura 18 - Imagem de espécime do grupo ARC - A obtida por meio do software CTvox.....	50
Figura 19 - Imagem de espécime do grupo ARC - B obtida por meio do software CTvox.....	50
Figura 20 - Imagem de espécime do grupo CSA - A obtida por meio do software CTvox.....	51
Figura 21 - Imagem de espécime do grupo CSA - B obtida por meio do software CTvox.....	51
Figura 22 - Imagem de espécime do grupo MAX - A obtida por meio do software CTvox.....	52
Figura 23 - Imagem de espécime do grupo MAX - B obtida por meio do software CTvox.....	52

Figura 24 – Imagens com escala de espécimes do grupo A obtidas por meio do software CTvox.....53

Figura 25 – Imagens com escala de espécimes do grupo B obtidas por meio do software CTvox.....54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações técnicas dos cimentos resinosos testados.....	35
Quadro 2 - Cimentos resinosos divididos por grupo de acordo com a técnica de inserção do cimento.....	36
Quadro 3 - Metodologia para a cimentação dos pinos segundo o fabricante* por grupo (n=5).....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média e desvio padrão do percentual (%) de bolhas considerando as variáveis material, terços e técnica de inserção.....	55
Tabela 2 - Média do percentual de bolhas (%) por raiz, considerando as variáveis material (cimento) e técnica de inserção.....	56
Tabela 3 - Média e desvio padrão (MPa) de resistência de união considerando as variáveis material, terços e técnica de inserção.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°	graus
°C	graus celsius
%	porcentagem
Al	Alumínio
Bis-GMA	bisfenol-A-glicidil-dimetacrilato
CIV	cimento de ionômero de vidro
cm ²	centímetro quadrado
DP	desvio-padrão
EDTA	ácido etileno diamino tetra-acético
Fator C	fator de configuração cavitária
F-Al-Si	fluor-alumínio-silício
g	grama
HEMA	hidróxi-etil-metacrilato
HU	<i>Hounsfield Unit</i>
Kgf	quilograma-força
kV	KiloVoltz
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
m	meses
MET	microscopia eletrônica de transmissão
MEV	microscopia eletrônica de varredura
MicroCT	microtomografia
min	minutos

mg	miligrama
mL	mililitros
MPa	megapascal
mm	milímetro
mm ²	milímetro quadrado
mm ³	milímetro cúbico
mW/cm ²	miliWattspor centímetro ao quadrado
μA	Microampere
μm	micrômetro
μL	microlitro
n	número de espécimes
NaCl	cloreto de sódio
NaOCl	hipoclorito de sódio
pH	potencial hidrogeniônico
PMMA	polimetil metacrilato
ROI	região de interesse
RU	resistência de união
s	segundos
TEGDMA	trietilenoglicol dimetacrilato
UDMA	uretano dimetacrilato

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	04
2.1 Considerações gerais sobre os dentes tratados endodonticamente.....	04
2.2 Evolução dos sistemas de retenção intra-radicular e dos agentes cimentantes.....	07
2.3 Fatores que interferem com a polimerização dos agentes cimentantes no interior do conduto.....	12
2.3.1 Agentes químicos utilizados para a limpeza do conduto radicular.....	12
2.3.2 Adversidades relacionadas ao uso de sistemas adesivos em ambiente intra-radicular.....	14
2.3.3 Acesso à luz no interior do conduto radicular e a importância do grau de conversão.....	20
2.3.4 O fator de configuração cavitária (Fator C) no interior do conduto e suas implicações.....	27
2.4 O advento dos cimentos auto-adesivos e suas perspectivas na cimentação adesiva intra-radicular.....	30
2.5 O uso da Microtomografia em Odontologia.....	31
3 OBJETIVOS.....	34
3.1 Experimento 1: Análise Microtomográfica das raízes.....	34
3.2 Experimento 2: Resistência de União (<i>Push-Out</i>).....	34

4 MÉTODOS.....	35
4.1 Experimento 1: Análise microtomográfica e quantificação de bolhas na interface.....	36
4.1.1 Grupos Experimentais.....	36
4.1.2 Preparo da Amostra.....	38
4.1.3 Aquisição das Imagens.....	39
4.2 Experimento 2: Teste de resistência de união (<i>push-out</i>)	43
4.2.1 Seccionamento das raízes para o teste.....	43
4.2.2 Execução do teste de <i>push-out</i> :	45
4.2.2.1 Conversão de valores.....	46
4.2.3 Análise estatística..	47
5 RESULTADOS.....	48
5.1 Experimento 1: Análise microtomográfica e quantificação volumétrica de bolhas na interface.....	48
5.2 Experimento 2: Resistência de união.....	56
6 DISCUSSÃO.....	59
6.1 Microtomografia.....	59
6.2 Resistência de união.....	61
7 CONCLUSÕES.....	69

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

1 INTRODUÇÃO

A restauração de dentes tratados endodonticamente evoluiu, em menos de duas décadas, de uma abordagem totalmente empírica à aplicação de conceitos biomecânicos baseados em evidência científica para a tomada de decisão clínica. Dentro deste contexto, a preservação da estrutura dentária, a presença da férula e a utilização de materiais adesivos para a cimentação estão entre os mais importantes requisitos para o sucesso em longo prazo deste tipo de restauração (1).

Mais especificamente no que tange ao reforço radicular, os pinos de resina reforçados por fibra de vidro têm exibido índices de sucesso satisfatórios durante acompanhamentos clínicos relativamente longos. A efetividade clínica dessas restaurações tem sido atribuída ao seu comportamento biomimético em relação à dentina. A presença de uma estrutura menos rígida no interior de condutos fragilizados diminuiu sensivelmente o número de fraturas radiculares, e falhas restauráveis - como a descimentação - são mais prováveis de ocorrer (1,2).

Tendo em vista que os pinos de fibra de vidro se adaptam passivamente às paredes do conduto, a efetividade dos procedimentos adesivos desempenha um papel de extrema importância sobre a performance dessas restaurações. A evidência científica atual aponta resultados mais confiáveis para a cimentação adesiva de pinos de fibra com adesivos de condicionamento total em combinação com cimentos resinosos de polimerização dual (1,2,3).

Entretanto, a obtenção de uma adesão estável à dentina, principalmente apical, se constitui um enorme desafio clínico, devido à influência de diversos fatores. Além do limitado acesso à luz no interior do conduto, as condições técnicas e características do substrato e do agente cimentante também são fatores determinantes do resultado final (4,5,6,7). No interior do conduto, o controle da umidade, da quantidade e evaporação do solvente presente no adesivo aplicado e o uso de agentes oxidantes de limpeza intra-radicular podem comprometer a polimerização completa do cimento resinoso (8,9,10,11,12,13). Somam-se a estes fatores a incompatibilidade dos sistemas adesivos simplificados, que acompanham a maioria dos cimentos resinosos, com as resinas de polimerização química e dual; a acidez dos monômeros que remanescem na superfície da camada adesiva, cuja

polimerização foi inibida pelo oxigênio, faz com que os mesmos tenham afinidade pelas aminas terciárias presentes como catalisadoras nessas resinas, e reajam com as mesmas, impedindo que atuem na reação (14,15,16). Além disso, a excessiva permeabilidade dos adesivos simplificados faz com que os mesmos se comportem como membranas permeáveis após a polimerização, permitindo a transudação de água pela camada adesiva e aumentando a probabilidade de degradação em longo prazo (17,18).

Pensando nisso, cimentos auto adesivos foram desenvolvidos no intuito de contornar alguns dos problemas relacionados ao manejo dos sistemas adesivos em ambiente intra-radicular. Esses cimentos foram rapidamente aceitos pela facilidade de uso clínico, uma vez que dispensam a utilização prévia de um adesivo por possuírem monômeros ácidos em sua formulação que simultaneamente desmineralizam e infiltram a dentina. Entretanto, esses materiais têm demonstrado um limitado potencial para desmineralizar e penetrar a *smear layer*, estabelecendo uma interação superficial com a dentina (1). Reações secundárias têm sido sugeridas como responsáveis por uma adesão química adicional à estrutura dentária. Cargas básicas de F-Al-Si nos cimentos auto-adesivos seriam capazes de reagir com os monômeros ácidos. Entretanto, a reação dominante ocorre via radicais livres, ativado por meio de luz ou de um sistema redox (1).

Para medir a resistência de união de cimentos resinosos à dentina radicular, três tipos de testes têm sido utilizados: o teste de resistência à microtração, teste de resistência ao cisalhamento por tração e o teste de resistência ao cisalhamento por extrusão (*push-out*) (19).

O teste de resistência à extrusão (*push-out test*) mede a resistência de união por cisalhamento de fatias transversais relativamente espessas dos espécimes (19), na interface dentina e cimento resinoso e entre cimento resinoso e pino. Existe uma modificação deste teste, onde são obtidas fatias de 1mm de espessura, na qual é aplicada uma carga compressiva constante com uma ponta específica correspondente ao diâmetro do pino, até o momento do descolamento do pino. A diminuição da espessura da fatia é justificada por uma maior uniformidade na distribuição do estresse no momento da aplicação da carga, além de possibilitar a diferenciação das fatias de acordo com os terços radiculares correspondentes (20).

Recentemente, métodos de visualização não destrutiva das estruturas dentárias em três dimensões têm sido utilizados como coadjuvantes na observação

de defeitos estruturais e variações morfológicas dos substratos. A Microtomografia (MicroCT) é uma versão modificada da tomografia computadorizada, cujas aplicações têm aumentado em pesquisa odontológica. Dentre suas aplicabilidades, encontram-se a mensuração da densidade mineral em esmalte e dentina, mensuração do osso cortical, mensuração do volume de dentina escavado durante o preparo cavitário, avaliação da infiltração marginal ao redor de restaurações e selantes, detecção de alterações na mineralização de lesões de cárie e medição automática da profundidade da dentina cariada (21).

Mais especificamente em endodontia, essa técnica tem sido utilizada há mais de uma década para analisar alterações na geometria e anatomia do canal radicular após a instrumentação (22). A análise e quantificação de artefatos inerentes à técnica de instrumentação e obturação de condutos radiculares é possível e já foi demonstrada (23,24). Entretanto, a relação entre fendasebolhasna interface de cimentação de pinos intra-radiculares com a diminuição da resistência de união é especulativa (24).

A cimentação adesiva intra-radicular ainda se constitui em um enorme desafio, uma vez que o comportamento clínico dos cimentos resinosos, nesta condição ainda está em estudo na atualidade (1,2,3,4,5,6,25,26). As diferentes formulações fornecidas pelos fabricantes e o grande número de marcas comerciais disponíveis dificultam a escolha do cimento pelo clínico. As diversidades técnicas tornam difícil seu manuseio, o que contribui para as variações em seu desempenho clínico e impossibilita uma análise longitudinal criteriosa.

Pelo exposto acima, fica evidente o papel que as variáveis envolvidas na cimentação adesiva intra-radicular desempenham sobre as propriedades mecânicas do polímero inserido no interior do conduto. Clinicamente, essas variáveis podem influenciar a retenção de pinos de fibra quando cimentados por meio de cimentos resinosos, bem como o desempenho da restauração em curto e médio prazo, quando a mesma for submetida a tensões durante a função.

Assim, o presente estudo foi elaborado com o intuito de analisar a qualidade da interface de cimentação dos cimentos resinosos auto-adesivos e convencionais, bem como a resistência de união desses materiais à dentina intra-radicular quando utilizados em diferentes técnicas de cimentação de pinos de fibra de vidro.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo fornecer subsídios para o entendimento das variáveis envolvidas na cimentação adesiva dos pinos intra-radulares de resina reforçada por fibras de vidro. Para um melhor entendimento, serão abordadas separadamente considerações a respeito dos dentes tratados endodonticamente, como natureza e características do substrato dentinário radicular, evolução dos pinos de resina reforçada por fibras de vidro, dos sistemas adesivos e cimentos resinosos, os fatores que influenciam a cimentação adesiva intra-radicular e a influência da técnica de cimentação sobre a homogeneidade da interface de cimentação.

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS DENTES TRATADOS ENDODONTICAMENTE

O prognóstico dos dentes tratados endodonticamente depende não somente do tratamento endodôntico, mas do tipo de reconstrução que será indicado. Essas considerações incluem a decisão de indicar ou não um sistema de retenção intra-radicular.

Muitos profissionais encontram dificuldades em diferenciar situações indicativas ou não de pinos intra-radulares, ou seja, em entender qual a real função de um meio de retenção intra-radicular. O papel do pino intra-radicular, qualquer que seja o material utilizado, é o de servir como suporte para a reconstrução coronária, sem nenhuma pretensão ou probabilidade de reforço da estrutura radicular remanescente (7,25,27,28).

Fernandes; Shetty; Coutinho (29) em uma extensa revisão de literatura acerca das variáveis que influenciam a seleção do sistema de retenção intra-radicular, apontam diversos fatores como determinantes da escolha. Dentre os fatores relacionados ao indivíduo e à estrutura dentária encontram-se a anatomia, comprimento e largura radicular, configuração do conduto, quantidade de estrutura coronária remanescente e força mastigatória. Dentre aqueles relacionados à

restauração estão o desenho e material do pino, biocompatibilidade, reversibilidade, capacidade de adesão ao agente cimentante, material de reconstrução coronária, material de confecção da coroa final e estética.

Ao longo dos anos, numerosos estudos procuraram analisar as falhas clínicas supostamente associadas a dentes tratados endodonticamente restaurados por meio de núcleos intra-radulares (27,29,30,31,32,33,34,35,36).Entretanto, os materiais e metodologias utilizados são heterogêneos, e muitas vezes os critérios de falhas não estão bem estabelecidos, o que torna difícil justificar a preferência por um determinado sistema baseado apenas em estudos *in vitro*. Por outro lado, estudos *in vivo* são escassos (27).

Segundo Torbjorner,Fransson (35), os principais fatores predisponentes à falha durante a restauração de um dente desvitalizado por meio de pinos são condutos excessivamente alargados, paredes finas e superfície retentiva reduzida, que resultam em altos níveis de estresse sobre o cimento. A perda de retenção é reportada como sendo a mais freqüente causa de falhas.

As variáveis biológicas e técnicas envolvidas no preparo intra-radicular são complexas. O uso de pinos não aumenta a resistência à fratura dos dentes restaurados, porém a quantidade de remanescente coronário influencia a estabilidade do conjunto (37). Técnicas conservadoras de preparo, bem como manutenção da maior quantidade possível de remanescente coronário (efeito férula) são consenso entre os pesquisadores (28,33,37). A magnitude e direção das forças oclusais também são fatores que não devem ser subestimados (29).

Naumann, Preuss, Frankenberger (28) explicam, em um recente estudo sobre a efetiva capacidade de reforço dos pinos cimentados adesivamente, que a tolerância às cargas funcionais dos dentes tratados endodonticamente é influenciada pelo número de contatos oclusais, posição do dente no arco, tipo de reconstrução protética, tipo de pilar, condição apical, degradação do colágeno e, como fator crucial, o efeito férula promovido pela quantidade de dentina remanescente. Neste estudo, que comparou pinos de resina reforçados por fibras e pinos de titânio cimentados na presença e ausência da férula cervical, a resistência à fratura dos dentes tratados endodonticamente não foi influenciada pela rigidez do pino e sim pelo efeito férula, considerado um elemento chave dentro do 'complexo' restaurador.

O dente submetido a tratamento endodôntico sofre alterações estruturais, tornando-se fragilizado em relação a um dente polpado (7). Scotti, Ferrari (7)

apontam três conseqüências relevantes do tratamento endodôntico sobre o elemento dentário: perda de tecido com relativo enfraquecimento da estrutura dental, alteração das características físico-mecânicas do dente e variação das características estéticas de dentina e esmalte remanescentes. A resistência do dente torna-se reduzida em torno de 5%, mas a desidratação dentinária devido à perda da irrigação sanguínea e à variação da disposição das fibrilas de colágeno seria a responsável por um enfraquecimento da ordem de 14%, mais relevante na arcada mandibular e nos incisivos.

A estrutura radicular é completamente constituída por dentina intertubular (30). Ferrari, Mannocci, Vichi (30) estimaram, por meio de MEV, o número de túbulos dentinários disponíveis para a cimentação de pinos de fibra nos terços cervical, médio e apical do conduto até uma profundidade de 10mm. A densidade e diâmetro dos túbulos dentinários foi maior no terço cervical, e diminuiu progressivamente em direção apical. A superfície para adesão aumentou nos terços cervical, médio e apical em 202%, 156% e 113% respectivamente, após o ataque ácido. A espessura da camada híbrida foi de 4,5 μm no terço cervical, 2,5 μm no médio e 1,2 μm no apical, o que evidencia claramente as dificuldades técnicas inerentes aos procedimentos adesivos realizados no interior do conduto.

Dentes tratados endodonticamente restaurados por meio de pinos intraradiculares estão, ainda, susceptíveis a microinfiltração coronal em longo prazo, o que constitui uma potencial causa de falhas. Apesar desta infiltração ser substancialmente reduzida nos dentes obturados com selantes à base de resina, bem como nos dentes cujos pinos intra-radiculares foram cimentados com cimentos resinosos, o cimento de fosfato de zinco ainda é extensivamente utilizado em todo o mundo. Esse cimento, inicialmente ácido e não adesivo, é capaz de dissolver a lama dentinária e desmineralizar a dentina intacta subjacente. As fibrilas de colágeno expostas podem sofrer degradação em longo prazo (38). No estudo de Ferrari (38), a progressiva deterioração da integridade estrutural da matriz colágena foi proporcional ao tempo de função clínica. Os autores analisaram dentes que estiveram em função durante períodos de até 12 anos, dividindo-os em grupos correspondentes a 3-5, 6-9 e 10-12 anos. Um grupo controle foi estabelecido utilizando-se dentes hígidos recém-extraídos submetidos ao tratamento endodôntico e posteriormente desobturados e preenchidos com cimento de fosfato de zinco. A rede de fibrilas de colágeno apresentava-se intacta no topo da superfície dentinária

dos espécimes controle, e mantida, porém esparsa, nos espécimes com 3-5 anos de vida clínica. Nos espécimes com 6-9 anos de função clínica, a integridade da matriz colágena foi perdida dando lugar a uma rede amorfa e colapsada. Nos espécimes do grupo 10-12 anos, havia regiões adicionais onde a matriz estava ausente, com exposição das ramificações laterais dos túbulos na dentina mineralizada subjacente.

Entretanto, a performance dos materiais é influenciada por variáveis relacionadas tanto ao paciente quanto ao operador (35). Fatores como sensibilidade da técnica e dieta do paciente têm sido apontados como sendo tão significativos quanto a escolha do material. A maioria dos estudos sobre a restauração de dentes tratados endodonticamente aponta variações substanciais nos procedimentos clínicos, na seleção de pacientes e materiais utilizados. Existem falhas no estabelecimento de parâmetros e critérios para sucesso nestes tratamentos. Os estudos prospectivos apontam dados heterogêneos, o que faz com que os mesmos não possam ser combinados ou comparados para uma avaliação geral de sobrevivência (35).

Desta forma, remanescem questionamentos a respeito das situações indicativas de um pino intra-radicular, de qual o melhor sistema de pinos a ser indicado e qual o agente cimentante ideal para cada sistema. É importante que se conheça a evolução desses sistemas, e quais as principais características que consolidaram os pinos de fibra de vidro como alternativa viável ao uso de núcleos metálicos fundidos.

2.2 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE RETENÇÃO INTRA-RADICULAR E DOS AGENTES CIMENTANTES

Os cimentos odontológicos são materiais extremamente importantes, utilizados em mais da metade dos procedimentos restauradores, como cimentação de próteses e bases de restaurações diretas (39).

A escolha de um agente cimentante depende da situação clínica, combinada a suas propriedades físicas, biológicas e técnicas. Neste sentido, o agente cimentante ideal deveria fornecer adesão durável entre o dente e a superfície do material restaurador, combinado a adequados valores de dureza, resistência à

tensão e à compressão, adequado módulo de elasticidade e resistência à fratura para prevenir deslocamentos. Adicionalmente, deveria apresentar adequada viscosidade, baixa solubilidade e tempo de trabalho e presa adequados. No caso dos cimentos resinosos, os mesmos deveriam apresentar um adequado grau de conversão (40).

Os cimentos de fosfato de zinco, policarboxilato e ionômero de vidro são utilizados há décadas e apresentam vantagens e desvantagens muito bem documentadas na literatura (27,41,42,43). Entretanto, tais cimentos dissolvem-se lentamente e sofrem erosão nos fluidos orais (39). O cimento de fosfato de zinco é extremamente ácido nas primeiras horas, podendo dissolver a lama dentinária e desmineralizar a dentina intacta subjacente, promovendo a degradação das fibrilas de colágeno expostas em longo prazo (38,39).

Neste sentido, cimentos resinosos adesivos têm sido considerados uma alternativa viável, por apresentarem baixa solubilidade nos fluidos bucais, aderirem ao esmalte e dentina (39), além de reduzirem substancialmente a infiltração coronal (38).

Inicialmente preconizados para cimentação de próteses fixas adesivas, coroas, *inlays* e *onlays*, os cimentos resinosos passaram a ser indicados para a cimentação de pinos intra-radulares de cerâmica e fibra de vidro devido aos bons resultados alcançados em decorrência de sua baixa solubilidade e suas propriedades mecânicas e adesivas (44). Seu emprego na cimentação de núcleos intra-radulares objetiva o aumento da retenção e redução na concentração de estresse na interface dente/cimento/restauração, em função da união promovida pelo sistema adesivo, tanto ao dente quanto ao pino (45). Entretanto, a seleção do sistema adesivo e do agente cimentante apropriados para a cimentação de pinos intra-radulares ainda é um enorme desafio, uma vez que se desconhece o comportamento clínico em longo prazo destes materiais (4, 25).

O núcleo fundido, utilizado em conjunto com os cimentos de fosfato de zinco, policarboxilato ou ionômero de vidro, foi considerado até a década de 80 a melhor técnica de reforço e reconstrução coronária do dente tratado endodonticamente. Sua estabilidade, extremamente precisa em relação à morfologia do conduto, era garantida por retenção intrínseca ativa primária. No entanto, diversos estudos sobre reconstruções de dentes com núcleos fundidos ressaltam os elevados percentuais de fracasso desta opção de tratamento (37,46,47).

Estes estudos evidenciam que uma excelente adaptação dos pinos cônicos às paredes do conduto não permite melhor retenção, mas tende sobrecarregar a raiz com um efeito de cunha. Considerando a sua forma, estas estruturas provocam sobrecarga durante a função mastigatória ao redor de zonas radiculares fragilizadas previamente por tratamento endodôntico (7).

O advento dos sistemas de pinos intra-radulares pré-fabricados, mais especificamente aqueles confeccionados em materiais estéticos como dióxido de zircônio, fibras de vidro e polietileno, simplificou os procedimentos clínicos devido à eliminação da etapa laboratorial (27). Além disso, a disponibilidade de pinos translúcidos permitiu a utilização de cimentos resinosos de polimerização dual, onde a característica de translucidez dos pinos de fibra poderia favorecer a transmissão de luz. Segundo Rosenstiel, Land, Crispin (43) o aprimoramento desses cimentos se deu em resposta ao significativo aumento da demanda por restaurações estéticas, especialmente as cerâmicas translúcidas utilizadas para reabilitações anteriores. Este fato demandava a existência de sistemas adesivos confiáveis e ao mesmo tempo estéticos, para que não interferissem com a cor dessas restaurações.

Os pinos cerâmicos permitiram contornar problemas biológicos e estéticos relacionados à reconstrução coronária antes realizada por meio de pinos metálicos, fundidos e/ou pré-fabricados. No entanto, não resolveram a questão estrutural da reconstrução devido a sua alta rigidez. Pinos extremamente rígidos criam uma concentração de tensões elevada e não uniforme sobre o remanescente radicular. Além disso, demonstram baixa adesão à resina de reconstrução coronária e aos cimentos resinosos (7).

Os pinos de resina reforçados por fibra introduziram um novo conceito à restauração de dentes tratados endodonticamente: os diferentes componentes da reconstrução constituem um complexo mecânico e estruturalmente homogêneo, otimizando a distribuição das cargas funcionais (5,6). Entretanto, Ferrari, Mannocci (30), creditam à técnica de cimentação grande parte da responsabilidade sobre a durabilidade da restauração. Neste quesito, os autores apontam os pinos cimentados passivamente como vantajosos na redução de estresses criados após a cimentação, devido, principalmente, ao seu módulo de elasticidade e à técnica de cimentação adesiva, que evita retenção friccional entre o pino e as paredes do conduto.

A cimentação passiva dos sistemas de retenção intra-radicular, que interpõe entre o pino e a dentina intra-radicular uma camada de cimento resinoso, auxilia na absorção e dissipação das cargas funcionais transmitidas à raiz, constituindo-se o objeto de vários estudos clínicos e laboratoriais (5,6,20,48). Entretanto, atualmente, observa-se uma mudança nos paradigmas da odontologia estética, uma vez que as restaurações adesivas poderiam, em muitas situações, tornar desnecessária a indicação de retenção intra-radicular (33). Goto *et al.* (37) verificaram que espécimes confeccionados com pinos de fibra cimentados por meio de cimento resinoso e cuja porção coronária fora reconstruída com resina composta apresentaram resultados significativamente superiores àqueles reconstruídos com núcleo fundido em ouro e pré-fabricados em liga de titânio, quando submetidos à testes de fadiga. A variável mensurada foi o número de ciclos capaz de causar a falha do cimento. Este estudo sugere que uma melhor união entre a estrutura remanescente e o conjunto pino intra-radicular/ núcleo de reconstrução pode ser obtida utilizando-se pinos de fibra em conjunto a reconstruções de compósitos, em detrimento dos sistemas convencionais.

Em um estudo retrospectivo, Ferrari *et al.* (30) avaliaram a performance clínica de pinos de fibra cimentados em períodos de 1 a 6 anos, por meio de exames clínico e radiográfico realizados de 6 em 6 meses. Mil trezentos e quatro pinos foram incluídos nesse estudo, associados a 4 diferentes combinações de adesivo/ agente cimentante. Os resultados revelaram um índice de falhas de 3,2%, associado a duas razões: descimentação durante a remoção da coroa provisória (25 pinos) e lesões periapicais ao exame radiográfico (16 dentes), sem diferença estatisticamente significativa entre os grupos. Os autores consideram a cimentação de pinos de fibra com cimentos resinosos um procedimento seguro e confiável.

Nos sistemas de pinos reforçados por fibras, as mesmas são apontadas como responsáveis pelo aumento da rigidez e resistência da matriz resinosa. Muitos sistemas são divulgados como portadores de características muito semelhantes às da dentina, sendo a adesão química entre o pino e o cimento resinoso, bem como ao material de reconstrução coronária, uma de suas maiores vantagens (49). Os pinos de resina reforçados por fibras contêm alta porcentagem de fibras ininterruptas embebidas em uma matriz polimérica, geralmente resinas epóxicas ou outros polímeros com alto grau de conversão e altos índices de ligações cruzadas (50). Seefeld *et al.* (50) investigaram a correlação entre as características estruturais

de oito sistemas de pinos reforçados por fibras e a resistência à fratura dos mesmos, por meio de testes de carga estática e posterior análise em MEV, e verificaram uma significativa correlação linear entre a proporção fibras/matriz dos pinos e sua resistência flexural.

O comportamento destes pinos é definido como anisotrópico, ou seja, demonstram propriedades físicas diferentes quando submetidos a cargas advindas de diferentes direções. O módulo de elasticidade é de 90GPa ao longo do eixo das fibras, 34 GPa a uma incidência de 30° e 8 GPa quando as cargas são perpendiculares às fibras. Tais valores são semelhantes aos encontrados para a dentina de um dente hígido, que apresenta um módulo de elasticidade de 18GPa para cargas incidentes a 30° e de 8 GPa para cargas perpendiculares ao longo eixo das fibras. Neste sentido, a combinação dos pinos de fibra com um agente cimentante à base de Bis-GMA permite a obtenção de uma estrutura homogênea interposta entre o pino e a dentina radicular. Desta forma, o módulo de elasticidade baixo não está associado à fragilidade, e sim à boa resistência mecânica destes sistemas (7).

Quando a parte coronária de um dente reconstruído com um pino é submetida a tensões, os diferentes materiais que compõem o conjunto – cimento adesivo, reconstrução coronária e dentina - recebem solicitações diferentes, de acordo com suas propriedades mecânicas. O pino muito rígido em relação aos materiais que o circundam tende a não se deformar, mesmo quando as estruturas circundantes estejam próximas do seu limite elástico. Quando o valor do estresse supera o limite elástico desses materiais, a raiz se fratura (7). Quando o pino está circundado por uma camada de cimento resinoso, o prognóstico pode ser melhor para a raiz porque o cimento cede primeiro, causando o deslocamento do pino.

Um aspecto intensamente discutido na atualidade refere-se ao grau de conversão dos cimentos resinosos e sua influência sobre o comportamento biomecânico do conjunto. A cimentação de pinos ou núcleos intra-radulares com cimentos adesivos se constitui num procedimento altamente sensível, sujeito às adversidades técnicas que se iniciam durante a desobturação do conduto e envolvem todos os passos operatórios, até a polimerização final do cimento (4,5,6,7,25,30).

A primeira questão relevante refere-se exatamente à configuração anatômica dos condutos radiculares, que torna os procedimentos adesivos intra-

radiculares ainda mais sensíveis à técnica. O limitado acesso dificulta o controle da umidade, do condicionamento ácido, da quantidade e evaporação do adesivo e da intensidade de luz recebida pelos terços médio e apical, aumentando, conseqüentemente, as chances de insucesso. A utilização de sistemas adesivos simplificados trouxe ainda mais prejuízos à estabilidade e durabilidade da união adesiva e do próprio polímero (4,7,30).

Combinada a esses fatores está a alta contração de polimerização associada a compósitos de baixa viscosidade, como os cimentos resinosos. Um dos maiores problemas relacionados à cimentação adesiva intra-radicular reside na dificuldade para o alívio dos estresses de contração nas porções profundas de canais estreitos (25,51). Estas variáveis vêm sendo extensivamente pesquisadas desde o surgimento dos primeiros procedimentos adesivos intra-radiculares, na tentativa de melhorar o prognóstico dos dentes despolpados restaurados por meio de pinos de fibra e cimentos resinosos (30,36,51,52). Os efeitos das mesmas sobre as propriedades físicas e mecânicas do polímero formado, principalmente nas regiões mais profundas do conduto, são determinantes do grau de degradação que estes materiais sofrerão em longo prazo (4,36).

Por atuarem de formas distintas, as variáveis técnicas envolvidas nos procedimentos adesivos intra-radiculares serão abordadas separadamente ao longo deste capítulo.

2.3 FATORES QUE INTERFEREM NA CIMENTAÇÃO ADESIVA INTRA-RADICULAR

2.3.1 Agentes químicos utilizados para a limpeza do conduto radicular

O uso de agentes químicos para a limpeza do conduto após a desobturação e previamente à aplicação do sistema adesivo foi também objeto de alguns estudos (9,10,11). Soluções oxidantes como o hipoclorito de sódio (NaOCl) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) são apontadas por alguns autores como responsáveis pelo comprometimento da adesão intra-radicular (4,11,25). Outras substâncias, como o eugenol, também são consideradas nocivas à resistência adesiva intra-radicular (10). Resíduos destas soluções podem remanescer na

superfície da dentina, especialmente no terço apical do conduto, comprometendo a polimerização dos sistemas adesivos e, conseqüentemente, influenciando sua predisposição à degradação em longo prazo.

Ngoh *et al.*(10) compararam, por meio de testes de microtração, a resistência de união (RU) regional do cimento C&B Metabond à dentina radicular de dentes tratados com o líquido de cimentos à base de eugenol ou não; os autores verificaram que os espécimes tratados com eugenol apresentaram valores de RU significativamente inferiores quando comparados àqueles que não foram submetidos ao eugenol. A região analisada não influenciou a resistência adesiva, ou seja, os valores do terço cervical não diferiram dos valores do terço médio em ambos os grupos.

Em outro estudo (9), a influência de diversas soluções, dentre elas o hipoclorito de sódio a 5% e o RC-Prep(peróxido de uréia a 10% e EDTA a 15%) sobre a resistência adesiva de um cimento resinoso (C&B Metabond) à superfície radicular foi analisada. Foram preparados espécimes utilizando solução de NaCl (cloreto de sódio) a 0,9% como agente irrigador (controle), NaOCl a 5%, RC-Prep, NaCl a 0,9% seguido de ácido ascórbico a 10%, NaOCl a 5% seguido de ascorbato de sódio 10% (pH 4), NaOCl a 5% seguido de ascorbato neutro de sódio a 10% e RC-Prep seguido de ácido ascórbico a 10%. Todas as raízes foram preenchidas com o cimento C&B Metabond, armazenadas por 24h em meio úmido e seccionadas em 6 fatias de 1mm nos terços cervical e médio, que foram posteriormente desgastadas e submetidas ao teste de microtração. Os resultados demonstraram que tanto o NaOCl a 5% como o RC-Prep promoveram redução significativa na resistência de união do cimento à dentina, mas essa redução foi revertida por meio da subsequente aplicação do ácido ascórbico a 10% ou do ascorbato de sódio a 10%.

A influência do hipoclorito de sódio a 5% também foi estudada por Ari, Yasar,Belli (11),que analisaram as diferenças entre os valores de resistência adesiva de quatro agentes cimentantes (C&B Metabond, Panavia F, Variolink II e Rely X) em condutos previamente instrumentados e irrigados ou não com essa solução. Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos cujas raízes foram previamente tratadas com hipoclorito e as não tratadas. C&B Metabond apresentou os maiores valores de resistência adesiva em relação aos demais do

grupo controle, bem como em relação aos cimentos Panavia F e Variolink II do grupo irrigado com hipoclorito.

2.3.2 Adversidades relacionadas ao uso de sistemas adesivos em ambiente intra-radicular

A seleção do sistema adesivo é de extrema importância durante a cimentação adesiva de pinos intra-radulares. O conduto radicular é constituído em sua totalidade de dentina, que se constitui em um substrato naturalmente úmido e, conseqüentemente, requer uma técnica úmida de adesão. Desta maneira, a hidrofília do adesivo desempenha papel fundamental nos procedimentos adesivos intra-radulares, e, pensando nisto, diluentes resinosos hidrofílicos e solventes foram adicionados pelos fabricantes às formulações. Entretanto, este fato exerce um efeito determinante sobre a degradação destes materiais em longo prazo (4,53,54).

Originalmente, os primeiros pinos de fibra de carbono a serem cimentados adesivamente no interior dos condutos deveriam utilizar, em conjunto com o agente cimentante, um sistema adesivo de 3 passos (30,55). O mecanismo de adesão desses sistemas é baseado no condicionamento ácido prévio, para remover a lama dentinária e desmineralizar a dentina. Dessa forma, uma rede de fibrilas de colágeno é exposta e pode ser posteriormente infiltrada por monômeros resinosos, originando os prolongamentos de resinae ramificações laterais responsáveis pela retenção micromecânica da resina no interior do substrato dentinário desmineralizado (39). Recentemente, os chamados sistemas adesivos “simplificados” têm sido propostos, na tentativa de diminuir o número de passos operatórios e simplificar os procedimentos clínicos. Entretanto, apesar do crescente número de indicações, o comportamento clínico destes sistemas ainda está sendo estudado na atualidade.

Grande parte dos cimentos resinosos indicados para uso conjunto com pinos de fibra de vidro utiliza sistemas adesivos simplificados. A simplificação destes sistemas é uma tendência de mercado, decorrente da demanda pela simplificação técnica e redução do tempo clínico, mas trouxe prejuízos à estabilidade e durabilidade da união adesiva e do próprio polímero (4,56). Os sistemas utilizados para adesão intra-radicular são, em sua maioria, os mesmos utilizados nas técnicas

restauradoras diretas e indiretas; desta forma, podem ser utilizados sistemas adesivos convencionais ou autocondicionantes para essa finalidade (7).

Segundo Bouillaguet *et al.*(25) o condicionamento total da superfície dentinária melhora os índices de resistência de união à superfície dentinária plana. Entretanto, o pobre controle da umidade e a incompleta impregnação dos monômeros resinosos podem comprometer a adesão. É mais provável que tais problemas ocorram no interior do conduto, onde o controle da umidade é problemático. Neste sentido, o uso de sistemas adesivos autocondicionantes foi proposto, em conjunto com os cimentos resinosos, uma vez que esses sistemas poderiam ser utilizados sobre a dentina seca, e, como não requerem o enxágüe do agente condicionador ácido, poderiam minimizar as chances de insucesso (25).

Entretanto, tais sistemas incorporam em sua formulação monômeros resinosos ácidos, que simultaneamente desmineralizam e infiltram os tecidos dentais. As resinas de polimerização química e dual – incluem-se aqui os cimentos resinosos – podem sofrer influência da excessiva acidez dos sistemas adesivos simplificados ácidos(convencionais de 2 passos e autocondicionantes de passo único) (4,14,15,16,57). Isto ocorre devido ao fato de ambos os sistemas não receberem a cobertura de resina hidrofóbica, como ocorre nos sistemas convencionais de 3 passos e autocondicionantes de 2 passos. Na camada superficial, que foi inibida pelo oxigênio, remanescem monômeros ácidos, que ao entrarem em contato com as aminas terciárias básicas presentes como componentes do catalisador de resinas de polimerização química e dual, inativam tais aminas. A falha por incompatibilidade ocorre na interface entre o agente cimentante e o sistema adesivo, podendo provocar a falha do sistema adesivo como um todo (14,15):

O estudo de Sanares *et al.*(14)corroborou as evidências a respeito das interações adversas entre adesivos simplificados ácidos e resinas de polimerização química. Os autores compararam os valores de resistência adesiva (RA) de 4 adesivos convencionais de 2 passos (Prime&Bond NT, OptiBond Solo, Single Bond e One-Step) com diferentes graus de acidez, aplicados sobre dentina hígida e cobertos com resina foto ou quimicamente ativada. Após os testes, os espécimes foram analisados em MEV. Os valores de RU foram semelhantes para os compósitos fotopolimerizáveis, porém significativamente inferiores para os autopolimerizáveis. Neste último caso, observou-se uma relação linear entre o pH do

adesivo e o valor de RU, ou seja, quanto menor o pH, menor era o valor de RU. A análise em MEV revelou falhas predominantemente na interface compósito químico/adesivo, sendo que a área de fratura era comumente caracterizada por amplas lacunas, sugerindo incompatibilidade entre os mesmos. Desta forma, tornou-se evidente que alguns adesivos convencionais de 2 passos afetam a polimerização de compósitos autopolimerizáveis em decorrência de interações na interface.

Tay *et al.*(15) avaliaram, por meio de testes de microtração e análise em MET, os possíveis fatores contribuintes para a incompatibilidade entre os sistemas adesivos autocondicionantes de passo único e os compósitos autopolimerizáveis e dual. Os espécimes constituíam-se de superfícies dentinárias oclusais hidratadas e desidratadas, onde foi aplicado o adesivo auto-condicionante de um passo Xeno CF Bond (Dentsply). A resina composta dual Bis-Core (Bisco) foi aplicada nos modos: fotopolimerização, fotopolimerização retardada (20 minutos) e autopolimerizável. Em alguns espécimes, aplicou-se um co-iniciador químico (Bond Link). Quatorze dentes foram utilizados para a microtração e outros 14 para MET. Para esta última análise o compósito dual foi substituído por um fotopolimerizável e por um autopolimerizável de mesma composição. A fotopolimerização retardada resultou em queda significativa de resistência adesiva para a dentina hidratada, quando comparada à fotopolimerização imediata; para a dentina desidratada, a queda não foi significativa. Porém, o valor mais baixo foi encontrado para dentina hidratada combinada ao cimento autopolimerizável. O valor aumentou ligeiramente para este cimento quando a dentina estava desidratada. Na adição do Bond Link à dentina hidratada, a resistência adesiva aumentou, mas ainda foi significativamente inferior à dentina hidratada com fotopolimerização imediata. Este valor somente foi equiparado quando o Bond Link foi unido ao compósito autopolimerizável na dentina desidratada. A presença de bolhas de água predominou nos espécimes de dentina hidratada e fotopolimerização retardada e autopolimerização. Os autores concluíram que não só as reações químicas adversas entre os monômeros ácidos do adesivo e as aminas terciárias básicas das resinas autopolimerizáveis e dual são responsáveis pela incompatibilidade destes sistemas, mas também o fato de os adesivos autocondicionantes de passo único se comportarem como membranas permeáveis após a polimerização.

Em outro estudo(16), os mesmos autores testaram a hipótese nula de que a combinação de adesivos convencionais de 2 passos (simplificados) e co-

iniciadores químicos para união a compósitos de polimerização química ou dual não é afetada pelo estado de hidratação da dentina. Superfícies oclusais de dentina foram divididas em 9 grupos: grupo controle: dentina hidratada (H) e fotopolimerização imediata da resina (FI); grupo 2: H e fotopolimerização retardada (FR); grupo 3: dentina desidratada (D) e FR; grupo 4: H e resina autopolimerizável (Q); grupo 5: D e Q; grupo 6: H e Q combinado a um co-iniciador; grupo 7: D e Q com o mesmo co-iniciador do grupo 6; grupo 8: H e Q com 2% de sulfinato benzínico de sódio (co-iniciador); grupo 9: E e Q com o mesmo co-iniciador do grupo 8. Os autores encontraram uma redução significativa nos valores de RA no grupo 2 (H-FR) em relação ao grupo 1 (H-FI), que se recuperou com a desidratação da dentina (grupo 3). O grupo 4 (H-Q) apresentou os mais baixos valores, que aumentaram levemente no grupo 5 (D-Q) sem se diferir estatisticamente do grupo 6, onde foi utilizado um co-iniciador. Este mesmo co-iniciador aplicado sobre a dentina desidratada (grupo 7) promoveu aumento significativo da RA, embora ainda inferior ao grupo 1. O uso do sulfinato benzínico de sódio somente elevou significativamente a resistência no grupo 9 (D-Q). Falhas adesivas foram exclusivamente observadas nos grupos 2, 4 e 8. A presença de nanoinfiltração foi observada na camada híbrida de todos os grupos, bem como um padrão de deposição de grãos de prata isolados na camada adesiva e híbrida. Os grupos 2, 6 e 8 apresentaram bolhas de água na interface adesivo-compósito ou no próprio compósito. Já os grupos 4 e 5 evidenciaram ausência total de união entre o adesivo e o compósito.

Carvalho et al. (4) avaliaram o efeito da permeabilidade do adesivo sobre a união de cimentos resinosos que utilizam *primers* autocondicionantes à dentina. Os autores testaram a hipótese nula de que a aplicação de uma cobertura de resina hidrofóbica sobre adesivos auto-condicionantes de 1 e 2 passos não produziria efeitos na união de cimentos resinosos à dentina hidratada. Vinte e oito terceiros molares tiveram sua superfície oclusal removida, gerando superfícies dentinárias planas. Quatro grupos experimentais foram testados por meio de microtração, MEV e MET, sendo: grupo A : Panavia F/ ED Primer; grupo B: Panavia F/ ED Primer coberto por uma resina adesiva de baixa viscosidade (Scotchbond Multipurpose Plus), grupo C: Bistite II DC e respectivo adesivo (autocondicionante de 2 passos) e grupo D: Bistite II DC com o respectivo adesivo coberto pelo mesmo adesivo do grupo B. No caso do Panavia F, houve um aumento significativo nos valores de RA quando o ED primer foi coberto por uma camada de Scotchbond (grupo B), o que

não ocorreu para o Bistite II DC. Este último cimento, quando coberto pelo Scotchbond (grupo D), obteve resistência adesiva semelhante ao grupo B. A análise em MET revelou alterações na interface do grupo A (ED Primer) induzidas pela ação da água infiltrada. O adesivo auto-condicionante de 2 passos do Bistite II DC apresentou nanoinfiltração severa. Para ambos os cimentos a nanoinfiltração foi reduzida pela adição do Scotchbond Multipurpose Plus. Conseqüentemente, a hipótese nula foi rejeitada.

Desta forma, apesar de apresentarem menor sensibilidade técnica uma vez que os inconvenientes do controle da umidade estão eliminados com o uso dos sistemas simplificados, diversos estudos apontam que estes sistemas permitem que a água do substrato dentinário permeie pela camada de adesivo e fiquem aprisionadas entre a mesma e o material restaurador (17,18,58,59,60,61). A água presente no interior do conduto radicular provém de diversas fontes: da inadequada secagem do conduto após o ataque ácido, da saliva, do meio bucal e da própria dentina radicular, que é um substrato naturalmente úmido (4,58,59,60). Apesar de uma pressão pulpar positiva estar ausente nos dentes tratados endodonticamente, um aumento da permeabilidade radicular pode decorrer da redução da espessura dentinária radicular durante o preparo do conduto para a cimentação de pinos intraradiculares. Este fato se agrava quando se realiza o condicionamento total ou utiliza-se sistemas adesivos muito ácidos, capazes de dissolver ou remover completamente a lama dentinária (58).

A passagem de água pela camada híbrida foi avaliada por Chersoni *et al.* (59), utilizando os adesivos Prime&Bond NT (PB), Admira Bond (AB) e Clearfil SE Bond (SEB), aplicados sobre dentina condicionada com ácido fosfórico (grupo 1), condicionada com ácido fosfórico e irrigada com glutaraldeído a 10% por 120 segundos (grupo 2), e condicionada com ácido fosfórico e irrigada com hipoclorito de sódio a 5% por 120 segundos (grupo 3). Após seccionados e polidos, os espécimes foram moldados e réplicas foram confeccionadas imediatamente e após 3 e 12 horas para análise em MEV. Alguns espécimes foram também metalizados para serem comparados com as réplicas e encontrou-se que as características morfológicas de ambos (espécime e réplica) foram similares. Em todos os sistemas adesivos houve formação da camada híbrida, exceto quando tratado com NaOCl. Foram observadas bolhas de água na camada híbrida de todos os espécimes, exceto do grupo 2 (NaOCl), que foram similares após 3 e 12 horas de armazenagem.

O mesmo autor (58) investigou *in vivo* a passagem de fluídos na dentina intra-radicular após a polimerização de adesivos convencionais de 3 e 2 passos (All-Bond 2; Single Bond e One-Step Plus) e autocondicionantes de 1 e 2 passos (Tyrian SPE/One-Step Plus; Xeno III e One-Up Bond F). Vinte e oito dentes tratados endodonticamente foram utilizados, sendo 4 dentes para cada adesivo a ser testado. Para o grupo controle, 4 dentes foram selecionados, nos quais não foi aplicado nenhum sistema adesivo, sendo 2 submetidos ao condicionamento ácido e 2 não. Para avaliar a passagem de fluidos, os condutos foram moldados com silicona de adição para a obtenção de réplicas que foram observadas em MEV. Tanto no grupo controle quanto nos sistemas convencionais de 2 passos e autocondicionantes, foram observadas quantidades significativamente maiores de gotículas de fluídos na camada adesiva, comparado às réplicas onde se utilizou um sistema convencional de 3 passos. Neste último caso, apenas uma réplica apresentou uma inexpressiva passagem de fluídos. Este estudo evidenciou que, embora a adição de catalisadores terciários torne os adesivos simplificados mais compatíveis com os cimentos autopolimerizáveis e dual, sua afinidade à água faz com que funcionem como membranas permeáveis após a polimerização.

Um outro fator de extrema importância é o controle da quantidade e da evaporação de água e solventes presentes no adesivo, quando o mesmo é aplicado no interior do conduto. A técnica úmida requer a manutenção de certa quantidade de água na superfície de dentina previamente à aplicação do sistema adesivo, o que impedirá o colapso da matriz de dentina desmineralizada e preservará os espaços interfibrilares em condição de expansão, favorecendo a infiltração da resina adesiva (39). Essa água deve ser removida antes da aplicação do sistema adesivo; entretanto, existe uma probabilidade muito grande de que remanesçam resíduos de água na camada híbrida quando os sistemas adesivos são polimerizados dentro do tempo clínico recomendado pelos fabricantes (4). Dessa forma, a durabilidade da união adesiva torna-se prejudicada, uma vez que os espaços ocupados pelos resíduos de solvente ou água representam porosidades na interface adesiva, que comprometem a polimerização adequada dos monômeros resinosos e aumentam a susceptibilidade dos mesmos à degradação no meio bucal. Essa questão torna-se mais evidente quando da utilização de sistemas adesivos que também contêm água em sua composição, o que adicionará mais água à superfície e dificultará ainda mais a sua evaporação (4,17).

Nesse sentido, apesar da menor sensibilidade técnica dos sistemas adesivos à base de água em relação àqueles que não contém água em sua composição (nos quais a dentina deveria se manter visivelmente úmida para prevenir o colapso das fibrilas de colágeno), o controle clínico da umidade torna-se ainda mais crítico no interior do conduto radicular, onde a umidade, a espessura da camada adesiva, a evaporação do solvente, dentre outros, são fatores de difícil controle (25,62).

Além das variáveis técnicas, um importante fator a ser analisado é a qualidade da polimerização do sistema adesivo. O acesso à luz é questionável nas regiões profundas do conduto radicular, do que se desprende que resinas fotopolimerizáveis aplicadas nestas regiões poderão sofrer prejuízos em sua polimerização (48,36,52,63).

2.3.3 Acesso à luz no interior do conduto radicular e a importância do grau de conversão

Apesar da grande popularidade alcançada pelos compósitos e dos significativos avanços tecnológicos na área, estes materiais ainda apresentam algumas limitações quanto ao seu comportamento clínico, dentre elas a contração de polimerização, que resulta em estresse na interface com a estrutura dentária, a incompleta conversão de monômeros para polímeros durante a polimerização e a absorção de água no ambiente oral (64,65,66).

O grau de conversão dos materiais poliméricos desempenha papel fundamental sobre as propriedades físicas e mecânicas do mesmo (67). Um inadequado grau de conversão resulta em propriedades físico-mecânicas inferiores, como baixa resistência ao desgaste, instabilidade de cor, microinfiltração, reações teciduais adversas, aumento dos índices de sorção de água, maior solubilidade e maior probabilidade de falha precoce (43,68,69).

Ao mesmo tempo em que um alto índice de conversão é altamente desejável a um compósito, existe uma grande dificuldade em obtê-lo devido a limitações na mobilidade das moléculas reativas, que é imposta pela rápida formação de uma rede de ligações poliméricas cruzadas durante a fotopolimerização. Desta forma, a conversão dos monômeros em polímeros nunca é

completa, e sempre permanecem no interior da massa consideráveis quantidades de grupos metacrilatos não reagidos, ou monômeros residuais. Estudos que utilizaram espectroscopia infravermelha reportaram um grau de conversão variando de 35-80% (68,70,71).

Diversos fatores podem influenciar e/ou modular o grau de conversão de um compósito. Os principais relacionam-se à composição do material, à densidade de potência da luz, comprimento de onda, tempo de exposição, distância da fonte de irradiação, quantidade e tamanho das partículas de carga do material (71,72).

No caso dos cimentos resinosos, a espessura da restauração cerâmica ou o tipo de pino intra-radicular utilizado podem influenciar a quantidade de luz recebida pelas porções mais profundas do material. Diversos estudos apontam um significativo decréscimo no potencial de polimerização de cimentos resinosos usados sob restaurações cerâmicas, decorrente da atenuação da luz (45,73,74).

Com o objetivo de contornar estas limitações, os fabricantes introduziram na formulação dos cimentos resinosos fotoativados produtos cuja polimerização se dá por iniciação química ou induzida pela luz, daí a denominação “dual”. Teoricamente, este tipo de material reuniria em si as características benéficas dos cimentos auto e fotopolimerizáveis, e seu benefício estaria no fato de as porções submetidas a uma quantidade insuficiente de luz sofreriam polimerização química tardia (5,74,75).

Os estudos que procuram acessar o grau de conversão de cimentos em função de diferentes situações e protocolos clínicos não são recentes. Breeding; Dixon; Caughman (76), avaliaram, por meio de testes de dureza Knoop, a influência de diferentes tempos de exposição à luz na polimerização de 3 resinas compostas utilizadas como cimentos sob restaurações de resina composta de diferentes espessuras e cores. Neste estudo, a resina dual atingiu os maiores valores de dureza, entretanto sua polimerização também dependeu de adequada exposição à luz, estando a mesma sujeita a limitações similares às dos cimentos fotoativados. Os autores atestam que não é possível obter adequada polimerização de um cimento resinoso fotoativado sob uma restauração mais espessa que 2mm, e que restaurações escuras ou opacas também podem limitar a polimerização desses materiais.

Rueggeberg, Caughman (74), investigaram o grau de conversão de quatro cimentos resinosos dual, submetidos a diferentes tratamentos, sendo: não

fotopolimerizados, fotopolimerizados por 60 segundos sob tira de poliéster e polimerizados por 20 ou 60 segundos sob uma cobertura de 1,5mm de compósito. Espectroscopia infravermelha foi realizada 2, 5, 10, 30 e 60 minutos e 24 horas após a polimerização dos espécimes. Independentemente da marca, este estudo demonstrou que o componente químico da polimerização foi inferior quando comparado à exposição a qualquer quantidade de luz. Os autores concluíram que, apesar da afirmação dos fabricantes, não existem evidências de uma substancial polimerização induzida quimicamente nos cimentos resinosos dual após os mesmos terem sido submetidos à fotoativação. A polimerização obtida após 10 minutos foi quase equivalente à obtida após 24 horas.

Peutzfeldt (77), avaliou o efeito da fotopolimerização sobre o grau de conversão de 8 cimentos resinosos de polimerização dual, por meio de análise em espectroscopia infravermelha, e verificou que a polimerização dual resultou em 19 e 38% de ligações duplas remanescentes, enquanto para a polimerização exclusivamente química, esses valores variaram entre 25 e 56%, sendo que um dos cimentos que não foi fotopolimerizado não endureceu. A fotopolimerização foi capaz de reduzir a quantidade de ligações duplas remanescentes de 6 cimentos.

El-Badrawy, El-Mowafy (73), investigaram a dureza de cimentos resinosos de polimerização química e dual utilizados sob *inlays* de diferentes espessuras (1 a 6mm), deixando-os polimerizar de duas formas: apenas quimicamente e de forma dual. Para todos os cimentos analisados, houve diferença estatisticamente significativa entre a dureza daqueles polimerizados quimicamente e dos que foram submetidos à fotopolimerização, sendo a dureza Knoop maior nos cimentos que foram fotoativados. Os autores consideram os cimentos resinosos autopolimerizáveis o tipo de cimento mais apropriado para cimentação de pinos, coroas e próteses, mesmo apresentando tempo de trabalho limitado e tempo de presa prolongado. Isso se deve ao fato de que nos cimentos resinosos com polimerização dual examinados, a cura exclusivamente química não foi suficiente para atingir a dureza máxima dos espécimes.

Darr, Jacobsen (78), também procuraram correlacionar a dureza e a resistência flexural de cimentos resinosos de polimerização dual e química com o seu grau de conversão. Apesar dos valores de dureza apontarem um grau de conversão adequado, os cimentos testados demandaram 24 horas para atingir a cura máxima. A luz teve um efeito marcante nos primeiros 30 minutos, mas após

esse período ambos os grupos atingiram valores similares de dureza. A polimerização dual foi considerada mais efetiva do que a polimerização exclusivamente química, mas os autores advertem sobre a possibilidade de ocorrência de áreas remanescentes pobremente polimerizadas em cavidades profundas.

Hofmann *et al.* (45) testaram a hipótese de que o mecanismo de polimerização química dos cimentos dual é efetivo para a polimerização desses materiais. O efeito da polimerização química foi comparado à fotoativação isolada (fotoativando-se a pasta base) e ao mecanismo dual (fotoativando-se a mistura pasta base/catalisadora), em relação à resistência flexural, módulo de elasticidade e dureza de superfície. Um cimento de polimerização exclusivamente química serviu como controle. Adicionalmente, a influência da polimerização dos cimentos fotoativado e de ativação dual foi analisada sob uma camada de 2,5mm de porcelana. Para todos os cimentos dual avaliados, as propriedades mecânicas foram superiores quando a mistura das pastas foi fotopolimerizada, comparados à fotoativação da pasta base somente, independentemente da presença da camada de 2,5mm de porcelana.

Braga *et al.* (79) analisaram a influência do modo de polimerização sobre a resistência flexural, o módulo flexural e a dureza de cimentos resinosos. Foram testados os cimentos Panavia e Variolink (fotopolimerizável, autopolimerizável e dual), Rely X ARC (autopolimerizável e dual) e C&B (autopolimerizável). Os espécimes foram fraturados utilizando um teste de curvatura de 3 pontos, e a dureza Knoop foi mensurada nos fragmentos obtidos após os testes de resistência flexural. Os cimentos Rely X ARC e Variolink mostraram maiores valores de dureza após a fotoativação. O cimento Enforce demonstrou valores similares para as versões autopolimerizável e dual. Não foi identificada correlação entre resistência flexural e dureza, indicando que outros fatores (como, por exemplo, o conteúdo de carga e o tipo de monômero) afetam as propriedades mecânicas dos compósitos.

Paradoxalmente, Miller (75) levantou questionamentos acerca da efetividade e da continuidade do mecanismo de polimerização química após a fotoativação dos cimentos resinosos de polimerização dual utilizados sob inlays, onlays e coroas livres de metal. O autor especula que a fotoativação prejudicaria a atividade química de alguns destes cimentos. Para isso, baseou-se em estudos longitudinais das décadas de 80 e 90, que apontam altos índices de sucesso para

restaurações cerâmicas cimentadas com cimentos fotopolimerizáveis, bem como em experimentos realizados em seu laboratório. Os cimentos de polimerização dual que foram manipulados e deixados polimerizar apenas quimicamente apresentaram dureza Knoop superior aos que foram submetidos à fotoativação. Desta forma, considera que os parâmetros para a indicação dos cimentos de polimerização dual deveriam ser reconsiderados, uma vez que os mesmos parecem não oferecer benefícios reais quando os critérios dureza e longevidade são analisados.

Nos casos de cimentação adesiva de pinos intra-radulares por meio de cimentos resinosos, o mecanismo de polimerização assume importância ainda maior, tendo em vista que a fotopolimerização atinge somente a porção da resina mais próxima da luz. A eficiência dos pinos de fibra na transmissão de luz às porções mais profundas do conduto tem sido analisada na tentativa de determinar sua real influência sobre o grau de conversão dos agentes cimentantes resinosos (5,36,52,63).

O uso de pinos translúcidos tem o objetivo de melhorar a taxa de polimerização do cimento resinoso e de polimerizar o material adesivo de uma só vez. Vichi *et al.*(80) avaliaram o mecanismo de união de um sistema adesivo dual (Excite DSC) em conjunto a um cimento autopolimerizável (Multilink) no interior do conduto radicular por meio de análise em MEV, e verificaram presença de bolhas na camada de cimento de todas as amostras e ausência das mesmas nas interfaces pino/cimento e adesivo/dentina. Contudo, os prolongamentos de resina se formaram em todos os terços da raiz, exibindo a mesma morfologia de cone invertido, comprimentos e densidades semelhantes.

Em um estudo anterior, Lui (63) já havia analisado a influência da utilização de pinos translúcidos plásticos de diferentes diâmetros sobre a profundidade de cura de uma resina composta inserida no interior de condutos com 14mm de profundidade e 4mm de diâmetro, utilizando como controle espécimes onde a resina foi fotopolimerizada sem o pino. Para avaliar a profundidade de cura, utilizou um instrumento que mensurava o deslocamento longitudinal de uma ponta calibradora contra a resina, da região apical para cervical. A profundidade de cura aumentou significativa e proporcionalmente ao diâmetro dos pinos, exceto para os pinos de 1,35 e 1,5mm. Com o pino de 1,8mm, atingiu-se profundidade de cura de 11,29mm.

Roberts *et al.* (52), analisaram o efeito do uso de um pino translúcido sobre a profundidade de cura de uma resina composta fotopolimerizável inserida em

ambiente intra-radicular por meio de dureza Knoop. Para isso, confeccionaram cilindros de 15mm de comprimento com resina Z100 e, na tentativa de simular a cimentação em conduto radicular, um pino translumínico foi inserido no centro e fotopolimerizado por 2 minutos. Como controle utilizaram espécimes idênticos em resina, porém sem o pino. Os valores de dureza Knoop aumentaram progressivamente em distâncias mais profundas para os espécimes com pino, porém somente nas áreas adjacentes a ele. Em profundidades superiores a 3mm, a relação entre profundidade de cura e dureza Knoop não alcançou a proporção de 80%, indicando polimerização insuficiente em ambos os grupos. Este estudo sugere que experimentos prévios talvez tenham superestimado a habilidade dos pinos translumínicos em aumentar a profundidade de cura no interior dos condutos radiculares.

Em um estudo semelhante, Yoldas, Alacam (36) testaram a microdureza Knoop de um compósito em conjunto com diferentes pinos, preenchendo cilindros plásticos pretos de 15mm de comprimento e 4mm de diâmetro com resina fotopolimerizável e posicionando pinos translumínicos plásticos ou pinos de resina reforçada por fibras de vidro em seu interior. Um grupo sem o pino serviu como controle; 24 horas após a polimerização a 460 mW/cm^2 por 90 segundos, os espécimes eram testados em um microdurômetro por 10 segundos, com carga de 100g nas profundidades de 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14mm. Para o grupo controle, as medidas não puderam ser efetuadas a partir dos 4mm devido à não polimerização do material. Para os espécimes que continham os pinos translumínicos e de fibra de vidro, não houve diferença nos valores de microdureza até os 10mm de profundidade. Contudo, além dos 10mm a microdureza dos espécimes que continham o pino de fibra de vidro em seu interior não pôde ser avaliada em virtude da insuficiente polimerização. O pino translumínico permitiu análise da dureza até a profundidade 14mm.

Devido aos questionamentos acerca da efetividade da polimerização dos cimentos resinosos no ambiente intra-radicular, alguns estudos se propuseram a avaliar o comportamento de cimentos ionoméricos, comparados ou não a cimentos resinosos ou resinosos modificados por ionômero (6,48).

Sigemori *et al.* (48) compararam, por meio de testes de microdureza Knoop, a profundidade de cura de um cimento de ionômero de vidro (CIV) modificado por resina e dois cimentos resinosos, utilizados no interior de moldes

retangulares medindo $14 \times 2 \times 2\text{mm}^3$. Os espécimes foram analisados 24h após a polimerização, por meio de mensurações realizadas nos terços superficial, médio e profundo. Os cimentos resinosos apresentaram os maiores valores de dureza Knoop no terço superficial; entretanto, no terço médio não houve diferença estatisticamente significativa entre os materiais. No terço profundo, o cimento de ionômero de vidro apresentou os mais altos valores de dureza, enquanto a dureza dos cimentos resinosos diminuiu sensivelmente à medida em que a profundidade aumentou.

Cury *et al.* (6) compararam, por meio de testes de *push-out*, o comportamento de um cimento resinoso, uma resina composta, um cimento de ionômero de vidro convencional e dois cimentos de ionômero de vidro modificados por resina utilizados para a cimentação de pinos intra-radulares de fibra de vidro em relação à sorção de água e à resistência ao deslocamento. A hipótese nula era de que o tipo de cimento e o seu potencial para expansão higroscópica não influenciavam a retenção dos pinos de fibra de vidro. Após a cimentação dos pinos, os espécimes foram armazenados em água ou óleo mineral por uma semana, e então seccionados em fatias de 1mm de espessura para serem submetidos ao teste de *push-out*. A análise estatística mostrou que para os cimentos resinosos, não houve diferença significativa quando os mesmos foram armazenados em água ou em óleo. Ao contrário, o cimento ionomérico e os cimentos de ionômero modificado por resina apresentaram valores de resistência ao *push-out* significativamente superiores quando armazenados em meio aquoso. Apesar do cimento de ionômero de vidro convencional apresentar valores de resistência inferiores aos resinosos quando armazenados em óleo, após o armazenamento em água seus valores de resistência foram superiores aos dos cimentos resinosos armazenados em água.

Ceballos *et al.* (5) avaliaram, por meio de nanoindentação, o comportamento mecânico de pastilhas de cimentos resinosos em relação ao seu modo de polimerização (fotopolimerizáveis, autopolimerizáveis ou dual). Os resultados foram comparados com as mensurações obtidas dentro do sistema pino-cimento-dentina de espécimes, e com fotomicrografias obtidas em MEV. Diferenças significativas foram observadas entre o comportamento mecânico dos cimentos em pastilhas e daqueles utilizados na simulação da situação clínica, ou seja, em ambiente intra-radicular. Os autores afirmam que o confinamento do cimento entre o pino e a dentina exerce uma importante influência sobre o comportamento mecânico

desses materiais, e que os cimentos de polimerização dual apresentariam a melhor combinação de propriedades desejáveis.

Este último estudo nos direciona para outra importante variável: o Fator C ou fator de configuração cavitária, que deve ser considerado dentro do contexto da cimentação adesiva de pinos intra-radiculares.

2.3.4 O fator de configuração cavitária (Fator C) no interior do conduto e suas implicações

A formação de ligações lineares e cruzadas durante o processo de polimerização dos materiais resinosos é responsável pela contração de polimerização dos compósitos, uma vez que as mesmas são de natureza molecular, e conseqüentes da aproximação dos monômeros durante a formação das cadeias poliméricas. Esta reação promove uma redução volumétrica à medida que ligações covalentes são formadas (64,81,82). Aliado a este fato, diferenças entre o coeficiente de expansão térmica da matriz polimérica e das partículas de carga também originam estresses na interface carga/matriz. Sendo assim, o estresse é um processo dinâmico, e não pode ser prognosticado por meio de cálculos dos valores finais. A contração volumétrica resultante da polimerização de compósitos é da ordem de 1,5 a 5%, com conseqüente desenvolvimento de estresses internos, que são transferidos à interface como forças de tração (64).

A geometria da cavidade e a espessura da camada de resina também são fatores determinantes do maior ou menor grau do estresse de contração (51). O fator C, ou fator de configuração cavitária, é descrito como a razão entre o número de superfícies aderidas sobre o número de superfícies não aderidas de uma cavidade. Durante a polimerização, o compósito pode se mover e escoar na superfície não aderida, o que promove o alívio dos estresses associados à contração de polimerização. Portanto, quanto maior o número de superfícies não aderidas, maior o escoamento e menor o estresse gerado (51,64).

Segundo Carvalho *et al.*(81), o material resinoso quando inserido em cavidades estabelece uma competição entre as forças de contração de polimerização e a resistência de união à estrutura dentária. Dependendo da magnitude das tensões geradas, pode ocorrer a formação de fendas e subseqüente

infiltração e degradação. Segundo os autores, no caso de restaurações de resina composta, pode-se tentar controlar a magnitude desses estresses por meio da configuração do preparo cavitário, do uso de materiais para base ou forramento e pela técnica de incrementos.

Na situação intra-radicular, é praticamente impossível o controle desta variável. A cimentação de pinos intra-radulares representaria, nesse contexto, o pior cenário em relação ao fator de configuração cavitário. Uma vez que a superfície não aderida torna-se extremamente reduzida, como no caso de condutos longos e estreitos, o relaxamento dos estresses por escoamento torna-se insuficiente, podendo promover a perda de integridade da camada adesiva, ou seja, aumentando a probabilidade de “descolamento” do material das paredes dentinárias (5,6,51).

A composição do material e seu modo de polimerização também influenciam de maneira decisiva a quantidade de contração produzida durante a polimerização. Para diminuir a viscosidade e facilitar sua manipulação clínica, os cimentos resinosos tiveram sua porcentagem de carga reduzida, e por isso exibem maior grau de contração quando comparados às resinas com alto conteúdo de carga inorgânica. Adicionalmente, compósitos fotoativados exibem maior estresse de contração de polimerização e menor escoamento em relação aos quimicamente ativados (25,51).

Bouillaguet *et al.* (25) testaram a hipótese de que a resistência adesiva de cimentos resinosos à dentina radicular estaria reduzida em função do fator de configuração cavitário, do processo de polimerização e do tipo de agente cimentante, e seria menor em direção ao ápice. Os autores encontraram valores mais altos de resistência de união quando a cimentação de pinos era feita em raízes seccionadas e valores inferiores para as situações onde a adesão era feita em raízes íntegras, como ocorre clinicamente. Os cimentos quimicamente ativados (C&B Metabond e Fuji Plus) apresentaram polimerização mais lenta e, devido a isso, menor incidência de falha espontânea. Sugeriram que a força de contração ou os problemas associados à inacessibilidade do canal podem ter sido responsáveis pelas falhas, uma vez que os estresses de polimerização gerados em condutos radiculares podem ser tão intensos que os cimentos resinosos perdem a união com as paredes dentinárias, originando falhas na interface.

No mesmo artigo (25), os autores especulam que o fator C, que tipicamente varia de 1 a 5 nas restaurações intracoronárias, pode exceder 200 no

interior do conduto. Isto foi estimado por meio de cálculos matemáticos, dividindo-se a área de superfície livre de $150\mu\text{m}$ da espessura da película de cimento (área não aderida) ao redor do pino de $1,7\text{mm}$ de diâmetro pela área total aderida (área de superfície do pino somada à área de superfície dentinária). Uma das formas de contornar o problema seria a utilização de materiais que apresentam polimerização mais lenta, que permitem o escoamento e aliviam o estresse na interface adesiva, conforme foi observado neste estudo.

Tay *et al.* (51) propuseram um modelo matemático para análise das variáveis geométricas que afetam a adesão no interior dos condutos radiculares. Para isso, consideraram os condutos radiculares como sendo cones afilados e calcularam os possíveis valores para o fator de configuração cavitária, dividindo a área total disponível para adesão pela área livre em mm^2 . O diâmetro apical dos cones variou de $0,20$ a $0,40\text{mm}$ e o comprimento dos condutos variou de 10 a 28mm . Diferentes cenários foram simulados, desde o total preenchimento do conduto com cimento resinoso dual até espessuras de cimento variando de 1 a $500\mu\text{m}$. O fator C calculado foi de aproximadamente 500 para condutos medindo 10mm de comprimento. Quando a espessura de película do material resinoso diminuía de $20\mu\text{m}$ para $1\mu\text{m}$, a superfície livre para o escoamento da resina também diminuía, fazendo com que o fator C aumentasse rapidamente. Quando o conduto foi completamente preenchido por resina, o fator C ainda permaneceu 32 , extremamente alto quando comparado ao de uma cavidade classe I, que seria 5 .

De uma maneira geral, um ótimo grau de conversão e uma mínima contração de polimerização são objetivos antagônicos ($67,83$). Uma vez que um grau de conversão adequado é altamente desejável a qualquer material polimérico, outros fatores decorrentes ou não da conversão de monômeros em polímeros deveriam ser conhecidos e controlados, para a obtenção de um polímero de melhor qualidade (64).

Cimentos resinosos de polimerização química e cimentos ionoméricos foram sugeridos por alguns autores como alternativas para a cimentação de pinos de fibra ($6,25,46$) pois apesar de sofrerem contração durante sua presa, suas propriedades viscoelásticas os tornam mais favoráveis em relação à manutenção da integridade adesiva. Além disso, a expansão higroscópica pós-maturação dos cimentos de ionômero de vidro convencionais e modificados por resina compensa a contração inicial de presa desses materiais. Isto pode resultar em uma adaptação

mais íntima do cimento com as paredes do substrato no período pós-maturação (6,84).

2.4 O ADVENTO DOS CIMENTOS AUTO-ADESIVOS E SUAS PERSPECTIVAS NA CIMENTAÇÃO ADESIVA INTRA-RADICULAR

Até recentemente, os cimentos resinosos eram divididos de acordo com o sistema adesivo utilizado para o preparo do remanescente: grupo que utilizava adesivos de condicionamento total e o grupo no qual esmalte e dentina eram condicionados utilizando-se primers auto-adesivos.

A partir de 2002, um novo grupo de cimentos foi introduzido ao mercado, os cimentos auto-adesivos, desenvolvidos com a intenção de contornar as limitações dos cimentos convencionais e também dos resinosos até então existentes, bem como unir em si as características de ambas as classes em um único produto (85).

Esta nova categoria de cimentos resinosos, os cimentos auto-adesivos, tem ganhado popularidade entre os clínicos devido a sua facilidade de uso e técnica de cimentação mais simples quando comparada a dos cimentos resinosos convencionais. Devido ao fato de não necessitarem do uso prévio de um sistema adesivo, parte da sensibilidade da técnica foi eliminada (86). Apesar do fácil uso, os cimentos auto adesivos tem sido considerados materiais que se comportam de maneira efetiva, capazes de desenvolver uma adequada adesão aos tecidos dentários e materiais restauradores. Entretanto, as informações acerca desses materiais, no que diz respeito à composição e propriedades adesivas, são relativamente novas (87).

Os cimentos auto adesivos são capazes de interagir superficialmente com os tecidos dentários (88). Monômeros multifuncionais que simultaneamente desmineralizam e infiltram esmalte e dentina, resultando em uma vasta rede de ligações cruzadas e polímeros de alto peso molecular. Isso se desenvolveria por mecanismos químicos e/ou ativação por luz. Os grupos fosfóricos reagiriam com as cargas alcalinas e com a hidroxiapatita, resultando num aumento do pH e neutralização inicial. Essa reação gera água, que seria supostamente responsável

pela hidrofília inicial do material que melhoraria sua adaptação à estrutura dentária e a maior tolerância à umidade. Subsequentemente, essa água seria reutilizada por meio de uma reação com grupamentos ácidos funcionais e durante a reação do cimento com íons de partículas de carga básicas. Isso resultaria em uma mudança inteligente para uma matriz hidrofóbica. A adesão obtida seria então devido a retenção micromecânica e interação química entre os grupamentos de monômeros ácidos e a hidroxiapatita (89).

Entretanto, esses materiais apresentam menores valores de resistência de união ao esmalte quando comparado aos sistemas que requer o uso de sistemas adesivos previamente (90). No que diz respeito à dentina, estudos apontam que o desempenho dos cimentos auto adesivos é comparável ao dos cimentos resinosos dual convencionais que utilizam sistemas adesivos (90,91). Entretanto, alguns estudos mostram resultados de resistência adesiva significativamente mais baixos em dentina (92,93).

Para otimizar a adesão em esmalte, o uso de condicionamento ácido tem sido sugerido (91). No entanto, em dentina, este condicionamento diminui a eficácia da união, o que provavelmente deve-se à inadequada infiltração do cimento resinoso dentro da rede de fibrilas de colágeno expostas pelo condicionamento.

A aplicação de ácidos fracos - por exemplo, ácido poliacrílico - foi sugerida 3, 23 com o objetivo de remover parcialmente a camada de esfregaço (*smear layer*), deixando parte da fase mineral da dentina e aumentando a reação química entre o cimento e o substrato. Poucos estudos, no entanto, verificaram a eficácia deste tipo de tratamento sobre a resistência de união entre cimentos resinosos auto-adesivos e dentina (94).

2.5 O USO DA MICROTOMOGRÁFIA EM ODONTOLOGIA

Os métodos tradicionais de avaliação dentina / cimento / pino e suas interfaces após a cimentação são baseados, principalmente, em imagens 2D obtidas a partir de técnicas microscópicas, o que requer corte e polimento cuidadoso do espécime para análise. As deficiências de tais métodos incluem dificuldades na

melhor caracterização material, potencial para criação de artefatos durante o preparo de amostras (ou seja, perda de adesão durante os procedimentos de polimento, riscos na superfície não eliminados), necessidade de passos excessivos para preparação dos espécimes, limitações quando analisa-se planos diferentes, aquisição de poucas secções por dente, e, finalmente, a possibilidade de danos irreversíveis à amostra durante a seu preparo. Especificamente para a avaliação da interface pino / cimento / dentina radicular, as amostras devem ser replicadas com um material de resina epóxi, para evitar artefatos durante o preparo do espécime para análise no microscópio eletrônico de varredura (MEV), o que aumenta o tempo de trabalho e torna mais complexa a metodologia (95).

Um método potencial para explorar de forma não destrutiva a interface pino / cimento / raiz e contornar os problemas passíveis durante o preparo para análise em MEV é a utilização de microtomografia computadorizada (microCT) associada a softwares de reconstrução 3D. Avaliação quantitativa e qualitativa de tecidos duros e moles tem sido demonstrada na literatura, com qualidade superior em detalhamento.

A MicroCT permite uma organização espacial abrangente das imagens das estruturas. Na área odontológica, tem sido muito frequentemente utilizada para avaliar a morfologia de dentes e preparos radiculares, gerar modelos de elementos finitos, avaliar e quantificar a morfologia óssea peri-implantar, acompanhar a formação óssea ao redor de implantes dentários, bem como para caracterizar mudanças de densidade óssea após instalação de implante dentário. Embora a investigação não destrutiva através microCT tenha sido descrita para análise de vazios e lacunas em materiais para obturação endodôntica, poucos estudos descreveram o seu uso para caracterizar as estruturas da interface pino / cimento / raiz após a cimentação adesiva *in vivo*, até o momento (96).

O interesse por esta situação clínica particular, vem do cenário desafiador representado pela cimentação adesiva intra-radicular (97, 98, 99, 100). Este procedimento é comumente selecionado em odontologia reconstrutiva quando a estrutura coronal restante precisa ser reconstruída para posterior tratamento reabilitador estético. Como um resultado de manipulação do agente de cimentação e sua inserção no conduto, bolhas e lacunas podem ser introduzidas dentro da camada de cimento (101, 102, 103). Tal inconveniente pode afetar a longevidade da união adesiva de duas maneiras: em primeiro lugar, as bolhas podem ser

diretamente localizadas na interface entre a dentina e o cimento, reduzindo a área de contato do cimento; em segundo lugar, como as propriedades mecânicas são altamente dependentes da distribuição de falhas e da formação de lacunas/bolhas, seria de se esperar que a presença de bolhas diminuísse a resistência do cimento e criasse locais de início de fissuras e fendas, aumentando a microinfiltração (104). Assim, é de grande interesse a informação da distribuição espacial e área de volume de lacunas potenciais produzidas durante a cimentação.

Vários desafios são impostos quando pinos reforçados por fibras de vidro são cimentados por meio de cimentos resinosos ao conduto radicular (96). Na região apical do conduto, principalmente, o controle de umidade e aplicação do sistema adesivo ainda são críticos, o acesso à luz para polimerização é limitado e varia conforme a translucidez do pino. Outros aspectos são importantes, incluindo altas tensões de contração cimento resinoso (Fator C), grandes áreas cobertas por *smear layer*, detritos e remanescentes de guta-percha, mesmo após a limpeza da dentina radicular com ácido fosfórico. Essas situações devem ser contornadas para garantir a cimentação adequada ao conduto. Devido a estas questões, é consenso que a retenção clínica de pinos de fibra de vidro é altamente dependente de retenção friccional. Há uma deficiência de cobertura do pino pelo cimento na porção mais apical do conduto, e, embora na maior parte das vezes não tenha sido possível quantificar a área de superfície do pino descoberta, é, aparentemente, na região apical a maior área sem cobertura. Este achado pode estar relacionado com o estreito espaço disponível para o preenchimento de cimento nesta região, combinado com os fatores limitantes acima citados, e pode indicar que a resistência de união final na interface adesiva é influenciada de forma negativa (96).

3 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente estudo foi o de analisar a interface de união de três cimentos resinosos auto-adesivos comparativamente a um convencional em dentina intra-radicular por meio de análise microtomográfica e do teste de resistência de união.

Para tanto os experimentos foram divididos em 2 partes contendo objetivos específicos.

3.1 EXPERIMENTO 1: ANÁLISE MICROTOMOGRÁFICA DAS RAÍZES

Objetivo específico:

Analisar, por meio de imagem tridimensional, a linha de cimentação intra-radicular de acordo com os terços cervical, médio e apical, e quantificar o volume de espaços vazios ao longo desta linha de acordo com a técnica de cimentação e os terços.

3.2 EXPERIMENTO 2: RESISTÊNCIA DE UNIÃO (*PUSH-OUT*)

Objetivo específico:

Comparar os valores de resistência de união dos diferentes cimentos à dentina radicular de acordo com a técnica de cimentação e terços analisados.

4 MÉTODOS

Os cimentos testados, número do lote, fabricante e composição estão indicados no Quadro 1.

Quadro 1 - Especificações técnicas dos cimentos resinosos testados.

Cimento	Lote	Fabricante	Composição
Rely X ARC (dual convencional)	N117997	3M ESPE, Alemanha	Paste A: Bisfenol A diglicidilmetacrilato (Bis-GMA), trietilenoglicol dimetacrilato (TEGDMA), carga de zircônia, sílica, fotoiniciadores, aminas, pigmentos. Paste B: Bis-GMA, trietilenoglicol dimethacrilato, peróxido de benzoíla, carga de zircônia, sílica.
U100 (dual auto-adesivo)	380148	3M ESPE, Alemanha	Paste Base: fibra de vidro, metacrilatos esterificados fosforilados acídicos, dimetacrilatos, sílica silanizada, persulfato de sódio. Pasta Catalisadora: fibra de vidro, dimetacrilatos, sílica silanizada, sulfato de sódio p-tolueno, hidróxido de cálcio.
Clearfil SA Cement (dual auto-adesivo)	0038AA	Kuraray Medical Inc, Japão	Pasta A: Bisfenol A diglicidilmetacrilato (Bis-GMA), 10-Metacriloiloxidecil di-hidrogênio fosfato (MDP), Trietilenoglicol dimethacrilato (TEGDMA), Dimetacrilatos hidrofóbicos aromáticos, Canforoquinona, Peróxido de benzoíla, carga de vidro de bário silanizado, sílica coloidal silanizada. Pasta B: Bisfenol A diglicidilmetacrilato (Bis-GMA), Dimetacrilatos hidrofóbicos alifáticos e aromáticos, aceleradores, pigmentos, fluoreto de sódio, vidro de bário silanizado, sílica coloidal silanizada.
Maxcem (dual auto-adesivo)	3262105	Kerr Corporation, EUA	Monômeros metacrilatos esterificados não polimerizados, cargas minerais inertes, fluoreto de itérbio, ativadores, estabilizadores e corantes.

4.1 EXPERIMENTO 1: ANÁLISE MICROTOMOGRÁFICA E QUANTIFICAÇÃO DE BOLHAS NA INTERFACE

4.1.1 Grupos Experimentais

Os grupos foram divididos de acordo com a técnica de inserção do cimento no conduto radicular (segundo fabricante ou utilizando seringa centrix). Todos os cimentos foram manipulados de acordo com as recomendações dos fabricantes. A divisão dos grupos encontra-se no Quadro 2, e a metodologia utilizada para a manipulação encontra-se no Quadro 3.

Quadro 2 - Cimentos resinosos divididos por grupo de acordo com a técnica de inserção do cimento.

Modo de Aplicação/ Grupo	Cimento	Metodologia utilizada para a cimentação dos pinos
Fabricante (Grupos A)	Rely X ARC (ARC) (n=5)	Manipulação e inserção de acordo com as orientações dos fabricantes
	U100 (U100) (n=5)	
	Clearfil SA Cement (CSA) (n=5)	
	Maxcem Elite (MAX) (n=5)	
Centrix (Grupos B)	Rely X ARC (ARC) (n=5)	Manipulação de acordo com as recomendações dos fabricantes e inserção no interior do conduto com ponta agulha + seringa Centrix
	U100 (U100) (n=5)	
	Clearfil SA Cement (CSA) (n=5)	
	Maxcem Elite (MAX) (n=5)	

n=número de raízes por grupo

Quadro 3 - Metodologia para a cimentação dos pinos segundo o fabricante* por grupo.

Cimento	Metodologia utilizada para a cimentação dos pinos
ARC	Condicionamento com ácido fosfórico 35% no interior do conduto por 15s, enxágue com água por 15s e secagem com ar por 2s, remoção do excesso de umidade com pontas de papel absorvente, aplicação do sistema adesivo com um pincel <i>micro-brush</i> e remoção dos excessos com jatos de ar por 5s, manipular o cimento em um bloco de papel por 10s, aplicar cimento ao conduto com uma sonda periodontale uma fina camada ao pino (<i>não especifica*</i>), posicionar o pino no conduto, remover os excessos de cimento, fotopolimerizar por 40s na face oclusal.
U100	Irrigar o conduto com hipoclorito 2,5% e água destilada, remover o excesso de umidade com pontas de papel absorvente, dispensar o cimento em um bloco de papel e misturar por 20s, aplicar o cimento ao conduto (<i>não especifica*</i>) e ao pino, posicionar o pino no conduto, remover os excessos de cimento, fotopolimerizar por 20s na face oclusal.
CSA	Limpeza do conduto com água, secagem sem ressecar, misturar as pastas A e B por meio da ponta automix. Aplicar diretamente a partir da ponta misturadora sobre o pino e o conduto, posicionar o pino no conduto 40s após, vibrá-lo ligeiramente para evitar o aprisionamento de ar, fotopolimerizar por 2-5s, remover os excessos de cimento, fotopolimerizar por 20s na face oclusal. Aguardar 3 a 5 minutos para ajustes.
MAX	Limpeza do conduto com água, secagem sem ressecar, misturar as pastas A e B por meio da ponta automix. Aplicar o cimento ao pino ou diretamente ao espaço do canal (<i>não especifica*</i>). Assentar o pino e vibrá-lo ligeiramente para evitar o aprisionamento de ar. Deixar o cimento fluir vagarosamente, fotopolimerizar por 2 segundos, ou aguardar a autopolimerização por 2 a 3 minutos para remoção de excessos com a sonda exploradora. Após a remoção dos excessos, fotopolimerizar todas as superfícies por 20 segundos.

*Informações transcritas conforme a folha de instruções.

4.1.2 Preparo da Amostra

Para este experimento foram utilizados 40 pré-molares humanos, unirradiculares, recentemente extraídos e com dimensões semelhantes, os quais foram coletados e armazenados em frascos individuais com solução fisiológica acrescida de timol a 0,09%. Os doadores foram os pacientes indicados para exodontia de tais dentes, assistidos na Clínica de Odontologia da Universidade de Brasília, após a concordância e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

As raízes dos pré-molares foram seccionadas a 15mm do ápice e tiveram seus condutos instrumentados até a lima nº 35 e obturados com guta-percha(Endo Points, Rio de Janeiro, RJ, lote 0305) e cimento à base de hidróxido de cálcio (Sealer 26/ Dentsply, Rio de Janeiro, RJ, lote 236881), pela técnica de condensação lateral. As mesmas foram mantidas em solução fisiológica acrescida de timol a 0,09% e refrigeradas durante as fases da pesquisa. Os condutos foram desobturados com uma fresa de 1,5mm de diâmetro na profundidade de 10mm, para que um efetivo selamento de material obturador permanecesse na região cervical. Após desobturação do conduto, limpeza com água deionizada e secagem com pontas de papel absorvente, as raízes foram aleatoriamente distribuídas em grupos de 5, de acordo com o cimento a ser utilizado (Quadro 2).

O tratamento do conduto, a manipulação do material, a inserção ao interior do conduto e os tempos de fotopolimerização para cada um dos cimentos seguiu rigorosamente as orientações dos fabricantes para a primeira parte deste experimento (Grupos A). Na segunda parte, a manipulação seguiu as orientações dos fabricantes, e o cimento foi introduzido no conduto com o auxílio da ponta agulha de uma seringa centrix (DFL indústria e comércio, Rio de Janeiro, RJ), seguido do posicionamento do pino (Grupos B).

Todas as raízes foram restauradas com pino de fibra de vidro de 1,5mm de diâmetro, cilíndricos, contendo retenções (Reforpost - Ângelus, Londrina, PR, Brasil). Os pinos foram limpos com álcool etílico, secos cuidadosamente com lenços de papel absorvente e em seguida silanizados (Silano Ângelus, Londrina, PR, Brasil) por um minuto.

4.1.3 Aquisição das Imagens

A microtomografia das raízes foi realizada em experimento interdepartamental realizado com o Instituto de Biologia da Universidade de Brasília. As raízes com os pinos cimentados foram acondicionadas em frascos do tipo *Eppendorf* contendo 1,0mL de água deionizada. Os frascos com as raízes em seu interior foram escaneados (Figura 1) no microtomógrafo Skyscan 1076 MicroCT (Skyscan, Kontich, Bélgica), seguindo os parâmetros previamente definidos no estudo de Soviero *et al*(21): 100 kV, 100 μ A, 9,05 mm pixels, com filtro de Al de 1,0mm, degrau de rotação de 0,3° e média de quadros 4. A média de tempo de escaneamento foi de 1:25h. A reconstrução das raízes foi realizada utilizando-se o software NRecon (Skyscan, Kontich, Bélgica). As imagens reconstruídas foram corrigidas para *beam-hardening* em 80% e *smoothing* em nível 2. O parâmetro *ring artefact* foi fixado na posição 9 e a escala de cinza variou de 0.000198 a 0.059438 HU (Hounsfield Unit) (21). Após a reconstrução, as imagens foram avaliadas em uma tela LCD. A análise da linha de cimento foi realizada visualmente pelo examinador utilizando-se o software DataViewer (Skyscan, Kontich, Bélgica) (Figura 2).



Figura 1- Raízes sendo escaneadas no microtomógrafo Skyscan 1076 MicroCT

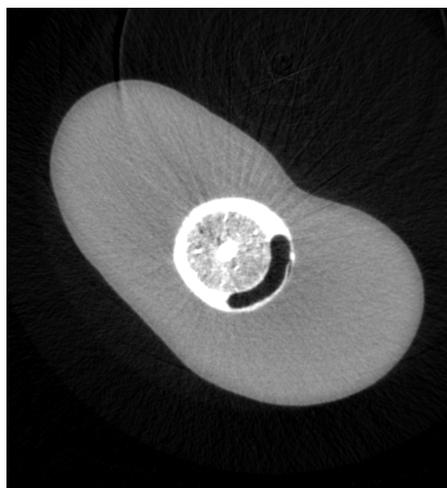


Figura 2 - Reconstrução de secção longitudinal pelo software NRecon

No software Dataviewer, o quadro (*frame*) longitudinal ou transversal foi carregado, o corte de interesse foi selecionado para o ajuste de cores. Após definição de cores e contraste, cada figura foi salva e em seguida carregada no

software CTanalyzer (CTan - Skyscan, Kontich, Bélgica) para a inserção de escalas (Figuras 3a, 3b).

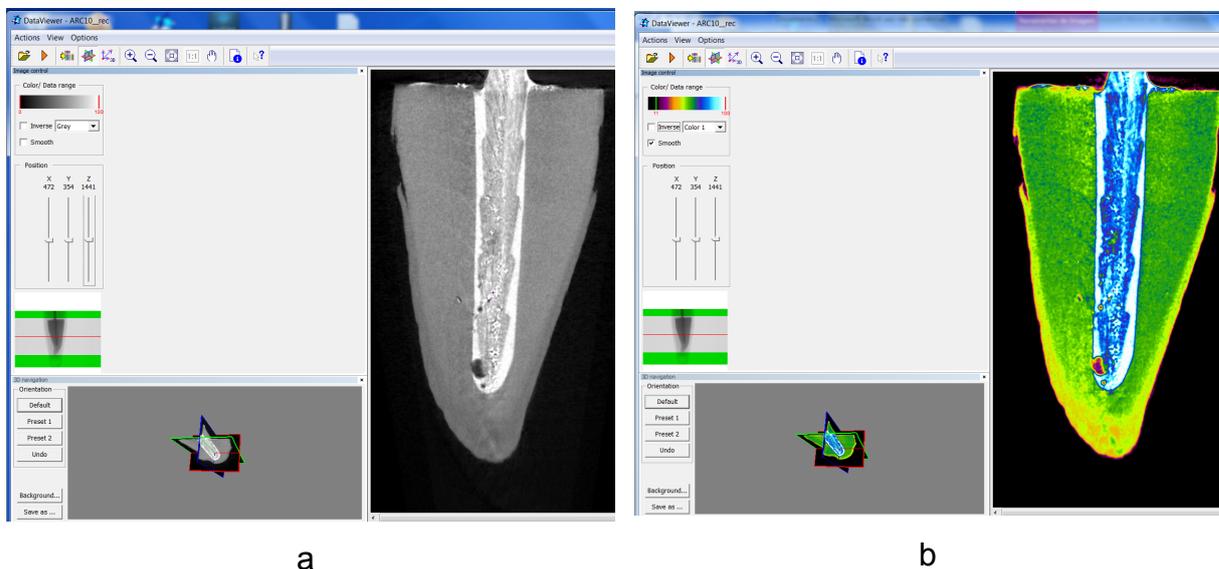


Figura 3 - Tratamento das imagens no Dataviewer:(a): imagem original; (b): seleção de cores, contraste e saturação para melhor identificação de artefatos

O CTan foi utilizado para a análise volumétrica das bolhas e demais artefatos a partir das imagens reconstruídas pelo software NRecon. Este software permite a seleção da região de interesse (*regions of interest - ROI*) a ser analisada. Para este experimento, a região de interesse foi mapeada a cada milímetro, calculado por meio de uma régua lateral visualizada ao lado da imagem longitudinal da raiz. A cada milímetro, um corte era selecionado para a região de interesse. Na figura abaixo, a ROI transversal é vista em azul; dentro desta ROI, um espaço vazio em vermelho é visualizado (Figura 4).

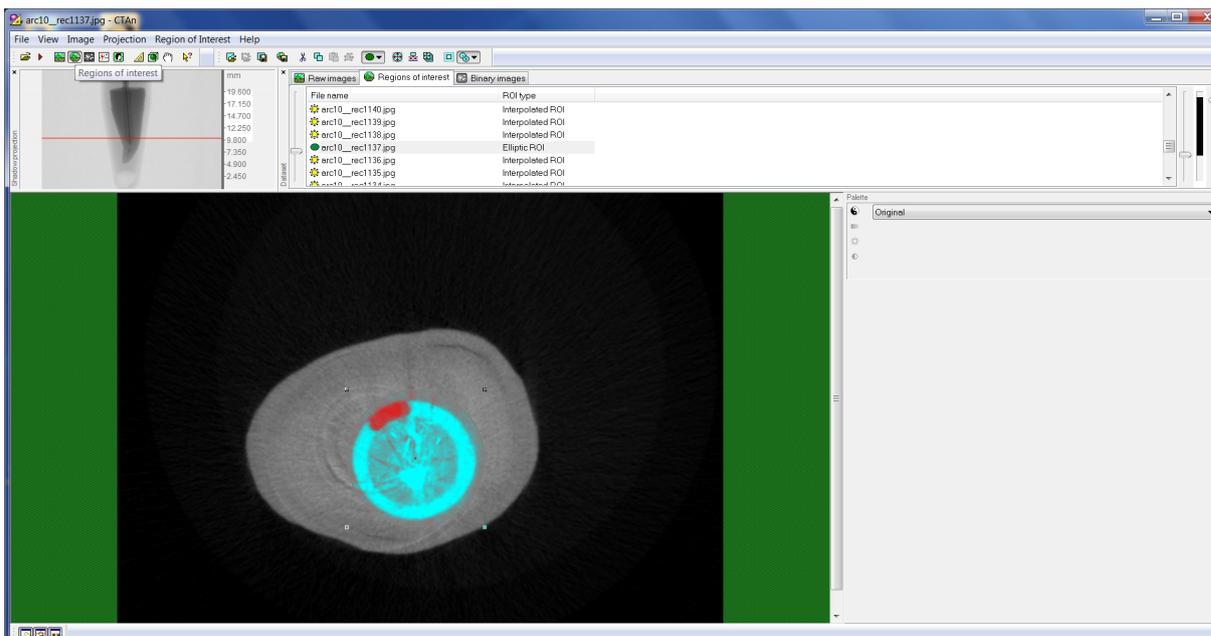


Figura 4 - Mapeamento da região de interesse (ROI) por meio do software CTAn

Após o mapeamento longitudinal de cada espécime, uma região de interesse (ROI) foi salva. Em seguida, o ajuste do contraste foi selecionado para que fosse possível a diferenciação dos espaços vazios (bolhas) daqueles preenchidos por cimento, dentro da ROI. Na figura abaixo, a ROI é vista em preto, e o espaço vazio em branco. Um contraste de 105 foi arbitrariamente selecionado, tendo em vista que este valor forneceu a melhor visualização dos espaços vazios. O mesmo contraste foi usado para todo o experimento (Figura 5).

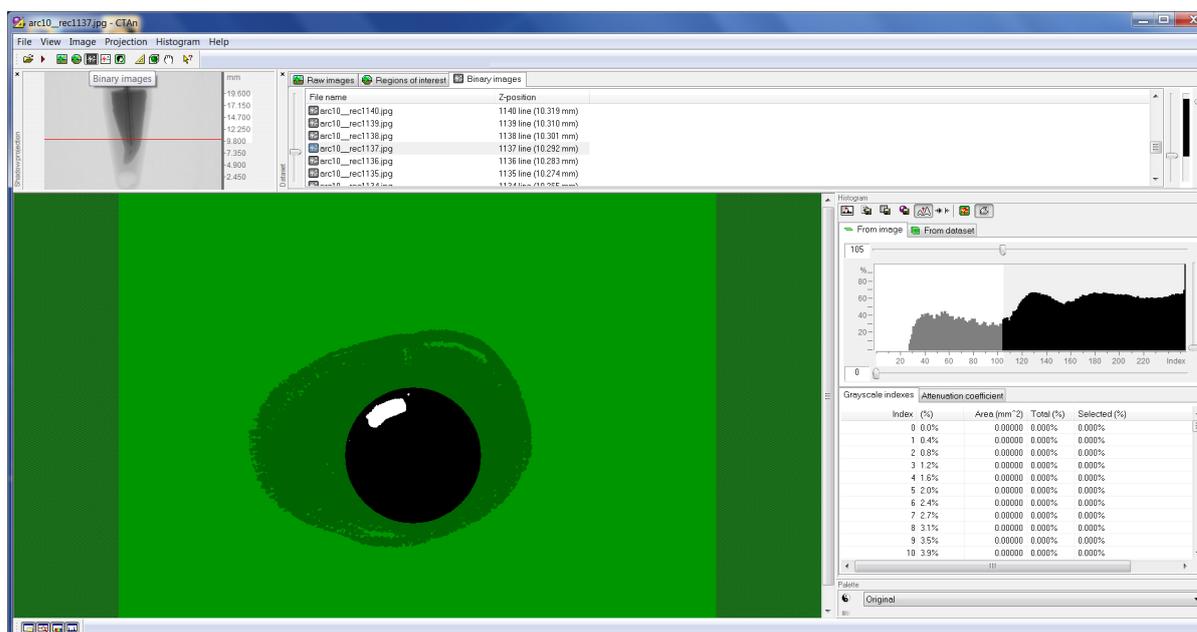


Figura 5 - Ajuste do contraste na região de interesse para identificação dos espaços vazios

Em seguida, a seleção foi invertida para a verificação da coincidência das áreas previamente identificadas como bolhas ou espaços vazios. Na figura abaixo, apenas a bolha é visualizada em cor clara (Figura 6).

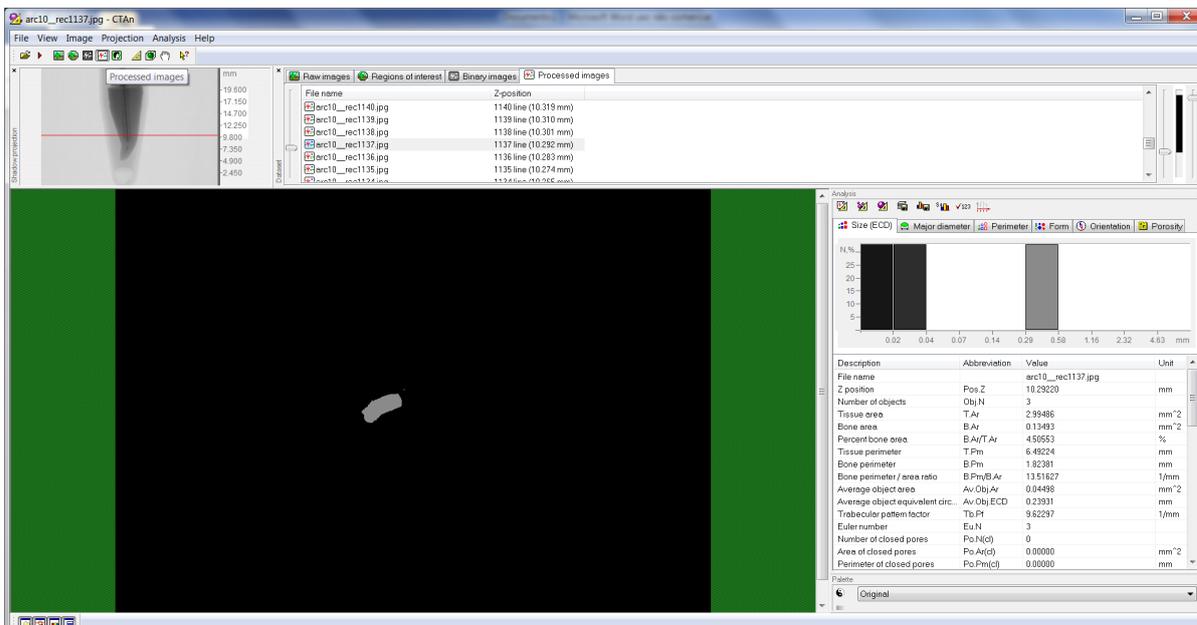


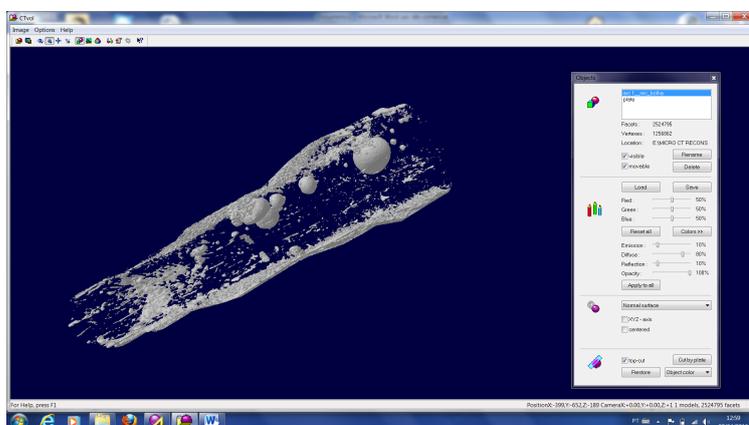
Figura 6 - Inversão da seleção na região de interesse

A partir da área selecionada, um modelo tridimensional foi gerado. O software realizou a leitura, mensuração e quantificação do percentual de bolhas presentes na região de interesse (ROI) selecionada pelo operador. Este experimento foi realizado inicialmente por raiz (ROI total), e posteriormente por terços (ROI cervical, médio e apical), para que fossem mapeadas as bolhas por região de cada raiz. Os dados numéricos obtidos foram tabelados para análise estatística.

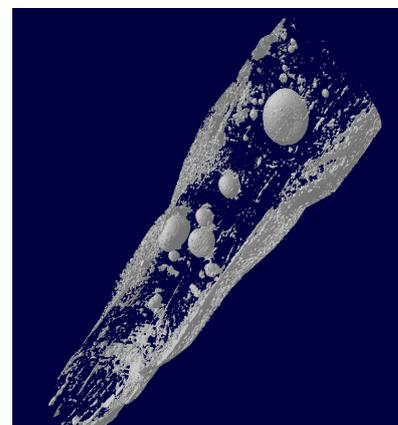
Adicionalmente, os dados das reconstruções foram utilizados para a produção de imagens e vídeos ilustrativos, utilizando o software CTvox (Figura 7) e CTvol (Skyscan, Kontich, Bélgica) (Figura 8a, 8b)



Figura 7 - Imagem de raiz reconstruída por meio do software CTvox



a



b

Figura 8 - Imagem de raiz reconstruída por meio do software CTvol. (a): configuração do software para criação de vídeo; (b): detalhe (*frame* ou quadro) do vídeo onde se visualiza apenas o volume de bolhas e espaços vazios, tendo sido removidos resina e dentina

4.2 EXPERIMENTO 2: TESTE DE RESISTÊNCIA DE UNIÃO (*PUSH-OUT*)

4.2.1 Seccionamento das Raízes para o Teste

Após 07 dias mantidos imersos em água e em estufa a 37°C, as raízes com os pinos cimentados foram seccionadas perpendicularmente ao longo eixo,utilizando-se um disco diamantado (Diamond Wafering Blade – Extec, Enfield, CT, EUA) na máquina de corte Struers Secotom 15 (Struers, Alemanha) sob refrigeração constante, resultando 9 fatias de 1mm de espessura (Figuras 9a,b).



Figura 9 - Técnica de corte para obtenção das fatias: (a) seccionamento da raiz em 9 fatias; (b): remoção cuidadosa de uma fatia para teste de *push-out*

A espessura das fatias foi aferida com paquímetro digital fino (Digimess Instrumentos de Precisão Ltda, São Paulo, SP, Brasil). Após ter sua face apical demarcada com grafite (Figura 10), cada uma das fatias foi acondicionada em um frasco contendo 1mL de água deionizada e devidamente identificada em relação ao tipo de cimento, número do espécime e terço do espécime ao qual pertencia.



Figura 10 - Raízes seccionadas e demarcadas para o teste de *push-out*

4.2.2 Execução do Teste de *Push-Out*:

Para os testes de *push-out*, cada fatia foi posicionada sobre uma mesa metálica plana de aço inoxidável, que continha em sua porção central uma perfuração com 2mm de diâmetro (Figura 11). Após a exata centralização do pino em relação ao orifício central, a fatia era fixada à mesa por meio de cola do tipo etil-cianoacrilato (Superbond®[®], Loctite, Henkel, São Paulo, SP, Brasil).

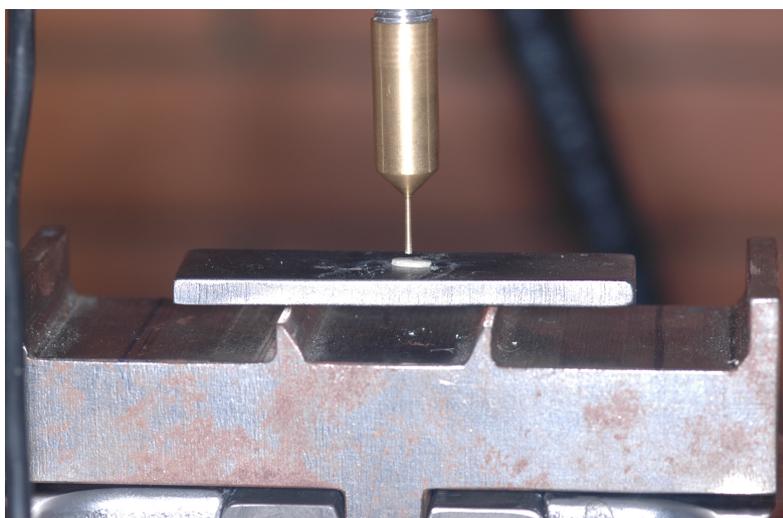


Figura 11 - Posicionamento da raiz sobre a mesa perfurada para o teste

A carga foi aplicada apenas sobre a superfície do pino por meio de um punção metálico com extremidade plana, com variação de 0,9mm a 1,1mm de diâmetro, acoplado à uma célula de carga de 100kg. Extremo cuidado foi tomado para que o punção não tocasse as bordas de dentina, o que poderia influenciar os resultados de resistência de união. Os testes foram realizados em uma máquina de ensaio universal Material Test System 810 (MTS System Corporation, Eden Prairie, Minnesota, EUA), à velocidade de 0,5mm/min, em experimento interdepartamental realizado com a Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (Figuras 12, 13).

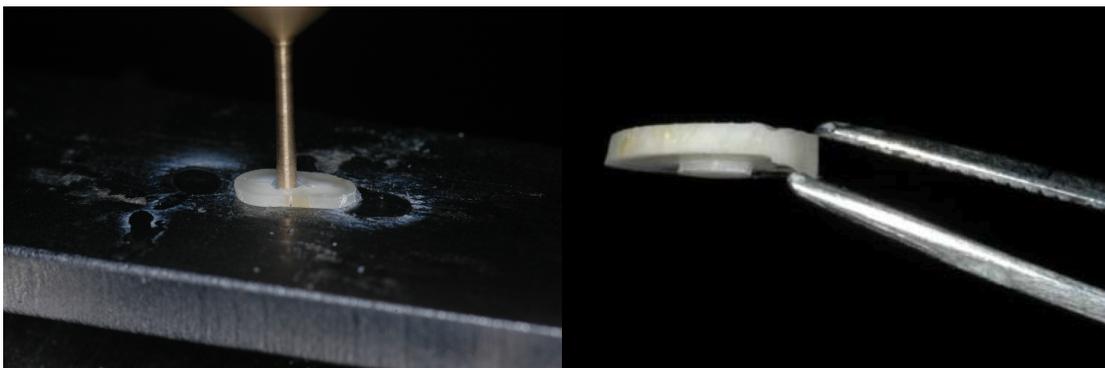


Figura 12 - Carga sendo aplicada sobre a superfície do pino por meio do punção metálico

Figura 13 - Espécime após o teste de *push-out*, exibindo o pino extruído

4.2.2.1 Conversão de Valores:

Os valores de resistência de união foram registrados no momento da extrusão do pino em kgf, e posteriormente convertidos em MPa para a obtenção dos valores de resistência adesiva (α).

Para se calcular a resistência adesiva foi utilizada a fórmula: $\alpha = F/A$, onde F (em MPa) é a força registrada no momento do deslocamento do pino.

Como o fragmento do pino tem o formato cônico (Figura 14), os diâmetros dos pinos, em cada superfície da fatia, e espessuras das fatias foram medidos utilizando um paquímetro digital (Digimes Instrumentos de Precisão Ltda, São Paulo, Brasil) e a área total, em mm^2 , da interface adesiva foi calculada aplicando-se a fórmula: $A = \pi (R_2 + R_1) [h^2 + (R_2 - R_1)^2]^{0.5}$

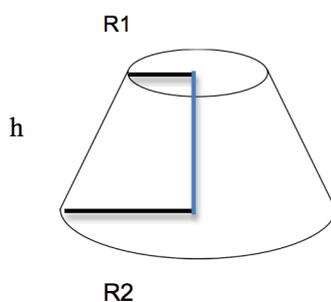


Figura 14 - Desenho esquemático da seção do pino para cálculo de área

Onde:

$\pi = 3,14$;

R 2 = raio coronal do fragmento de pino;

R 1 = raio apical do fragmento de pino;

h = espessura da fatia.

4.2.3 Análise Estatística

Os dados obtidos no teste de resistência adesiva foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 3 critérios (material, técnica e terço), seguido do teste de Tukey para comparações individuais, a um nível de significância de 5%.

Os dados oriundos da quantificação das bolhas foram submetidos à Análise de Variância a 3 critérios (ANOVA), e posteriormente ao teste de Tukey para comparações individuais.

O coeficiente de correlação de Pearson foi aplicado para análise do grau da correlação entre as variáveis.

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Brasília sob o Protocolo 05411.

5 RESULTADOS

5.1 EXPERIMENTO 1 - ANÁLISE MICROTOMOGRÁFICA E QUANTIFICAÇÃO VOLUMÉTRICA DE BOLHAS NA INTERFACE

A Figura 15 (a, b, c, d) exibe fotomicrografias de espécime Rely X ARC obtidas a partir de reconstruções feitas pelo *software* NRecon.

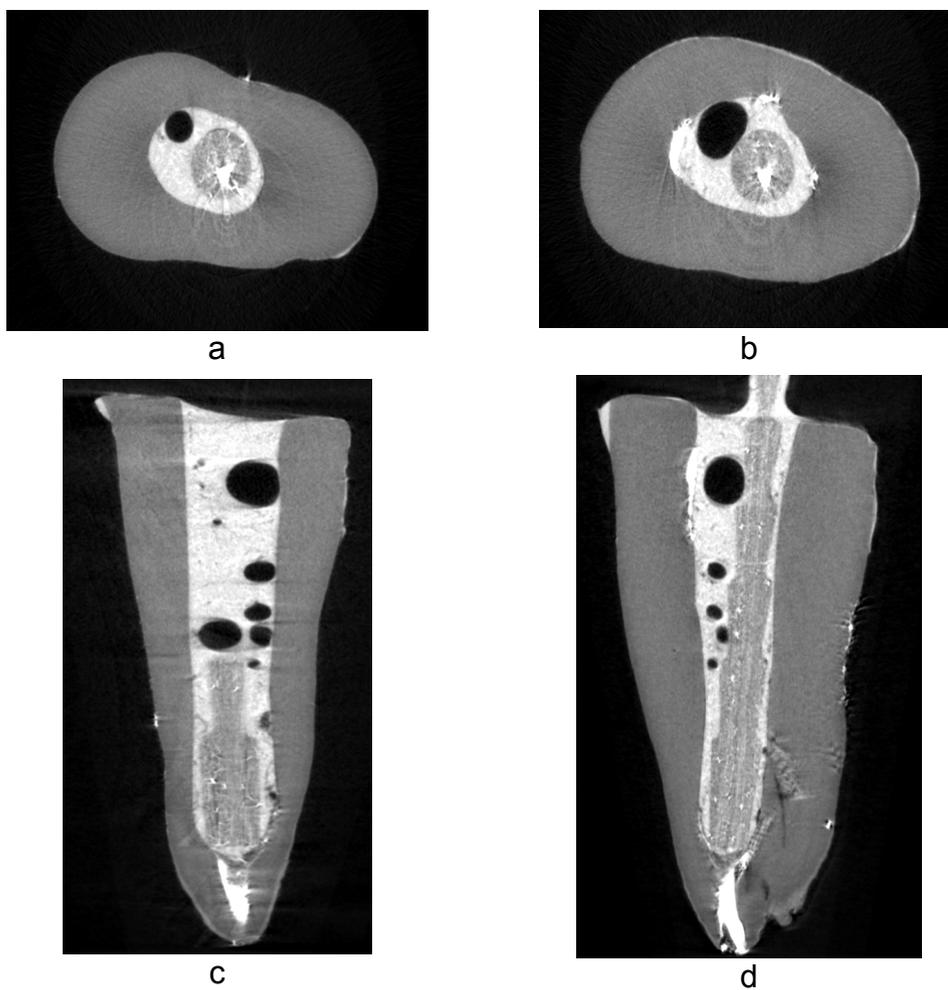


Figura 15 a,b,c,d - Reconstrução de seção transversal (a,b) e longitudinal (c,d) de espécime Rely X ARC pelo software NRecon

As figuras 16 a 23 ilustram, longitudinal e transversalmente por terço (cervical, médio e apical), as imagens dos espécimes reconstruídos em cores no software CTvox, de acordo com a técnica de inserção.

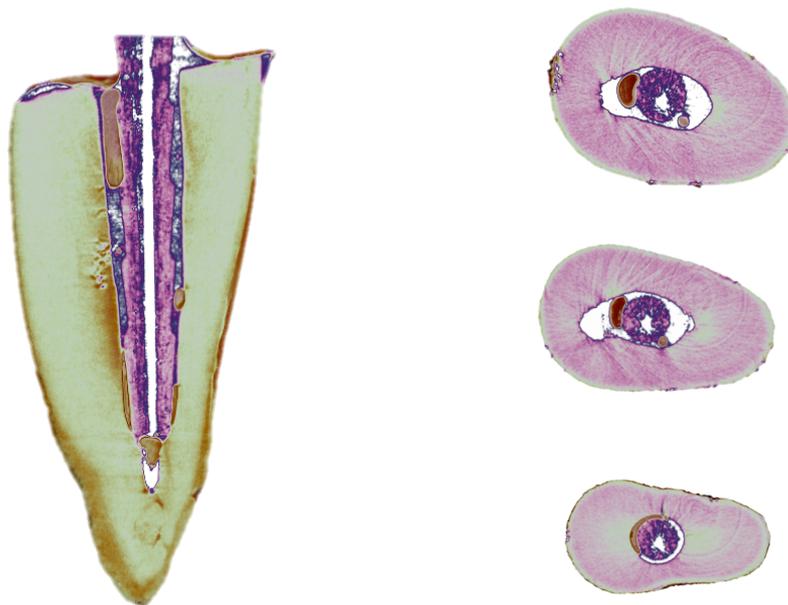


Figura 16- Imagem de espécime do grupo U100 - A obtida por meio do software CTvox.

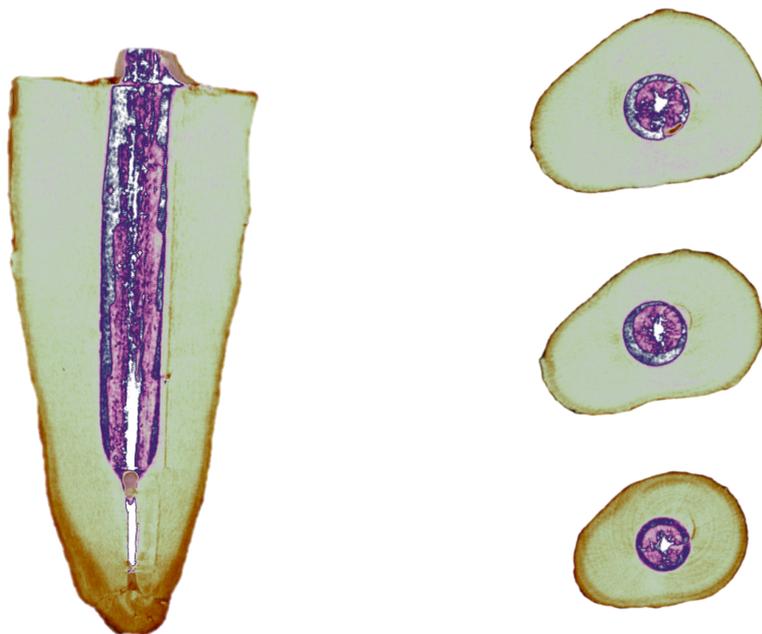


Figura 17 - Imagem de espécime do grupo U100 - B obtida por meio do software CTvox.



Figura 18- Imagem de espécime do grupo ARC - A obtida por meio do software CTvox.

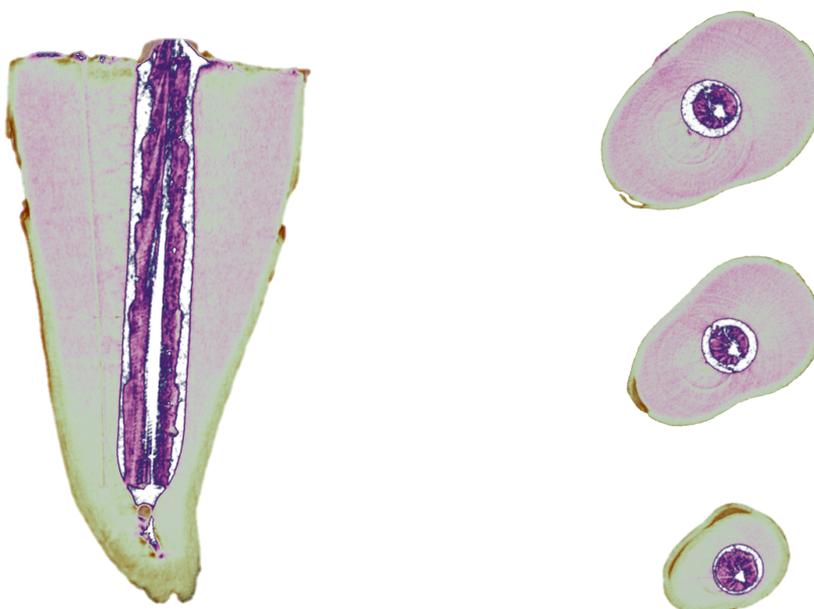


Figura 19- Imagem de espécime do grupo ARC - B obtida por meio do software CTvox.

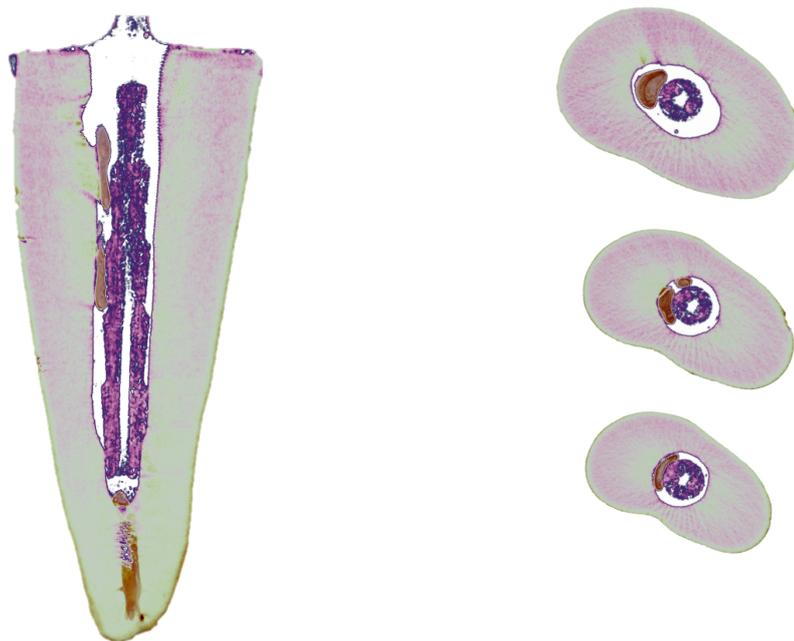


Figura 20 - Imagem de espécime do grupo CSA - A obtida por meio do software CTvox.

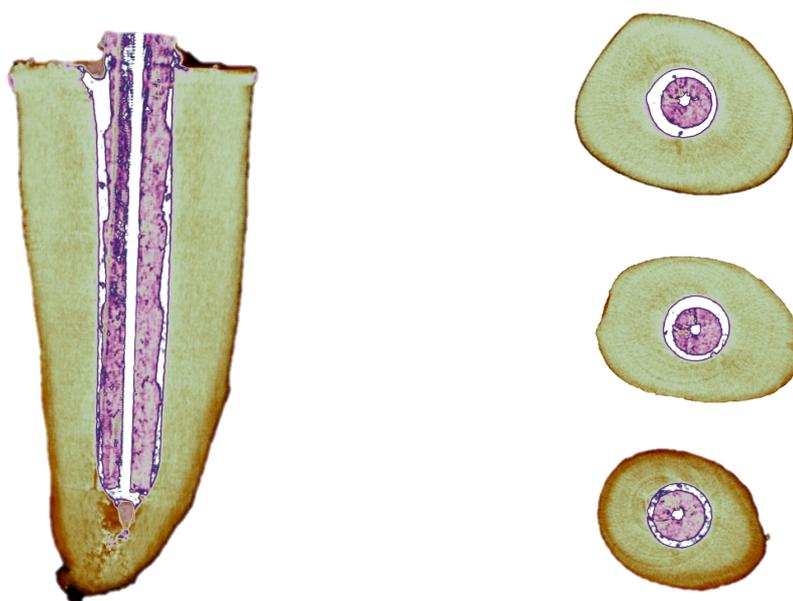


Figura 21- Imagem de espécime do grupo CSA - B obtida por meio do software CTvox.



Figura 22 - Imagem de espécime do grupo MAX - A obtida por meio do software CTvox.

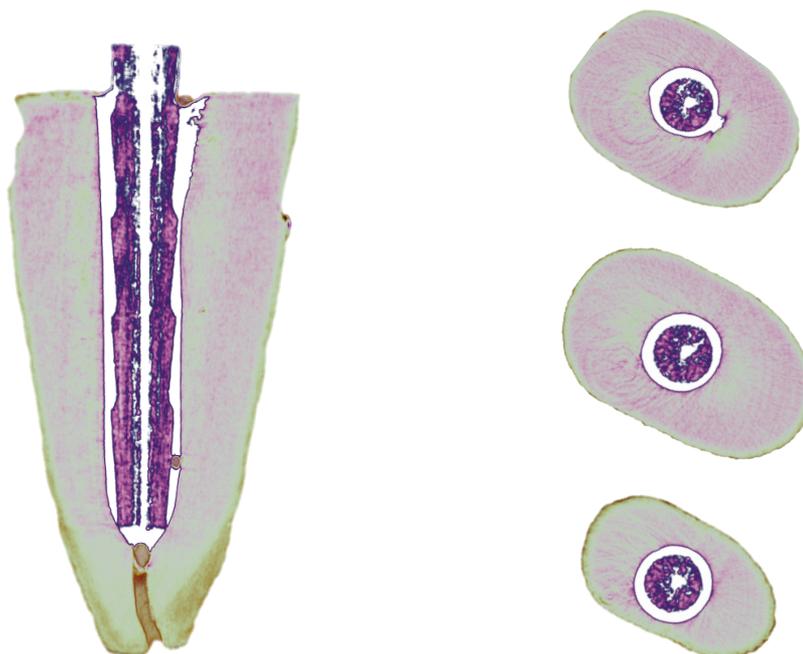


Figura 23 - Imagem de espécime do grupo MAX - B obtida por meio do software CTvox.

Por meio do software CTvox, uma escala numérica foi inserida e o contraste e cores das imagens iniciais foram modificados para melhor visualização das falhas.

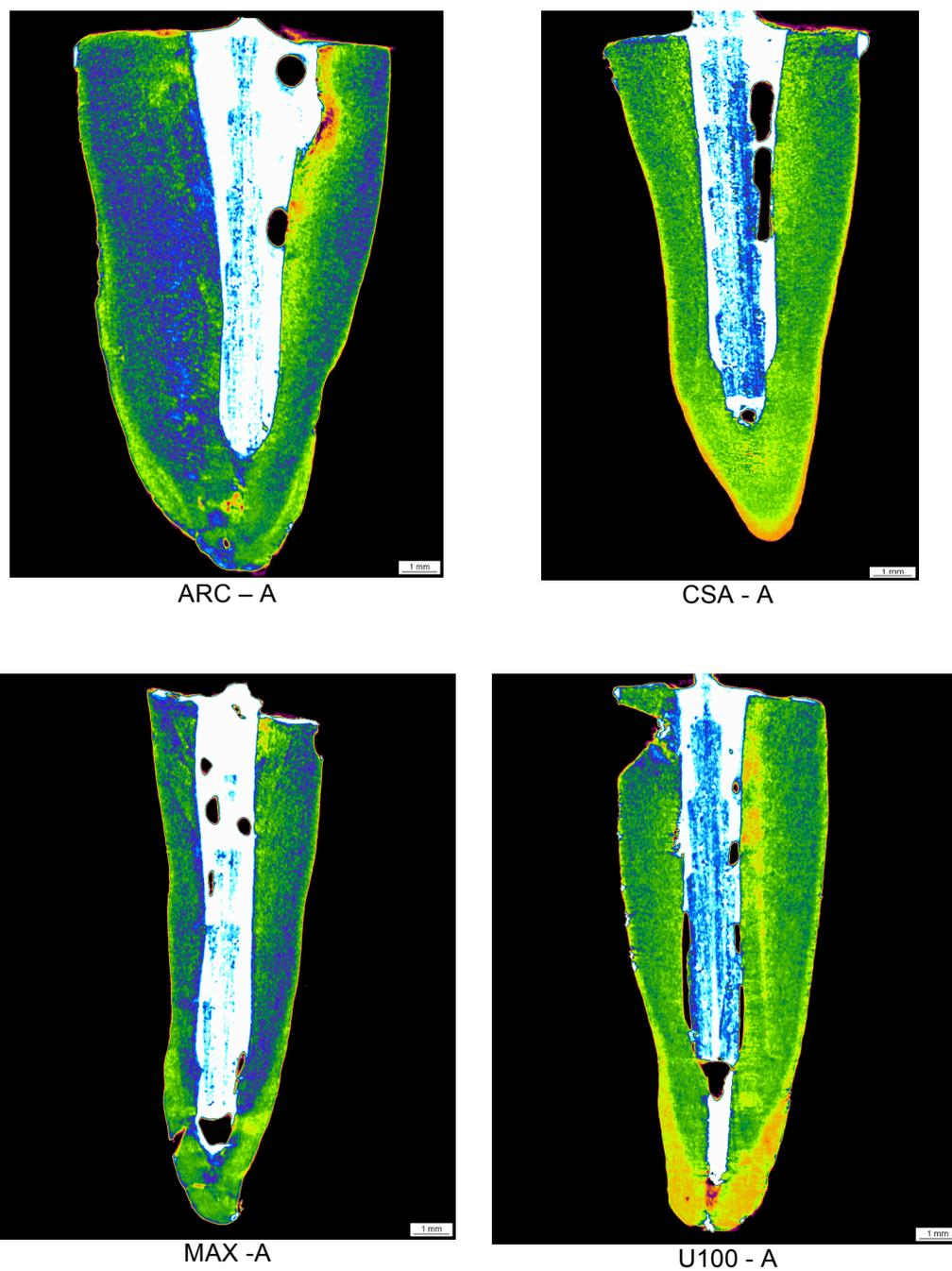


Figura 24 – Imagens com escala de espécimes do grupo A obtidas por meio do software CTvox.

Como pode ser observado na figura 24, o número e o tamanho das bolhas/ espaços vazios foram visualmente mais evidentes para os espécimes do grupo A, ou seja, aqueles manipulados e inseridos segundo as instruções do fabricante.

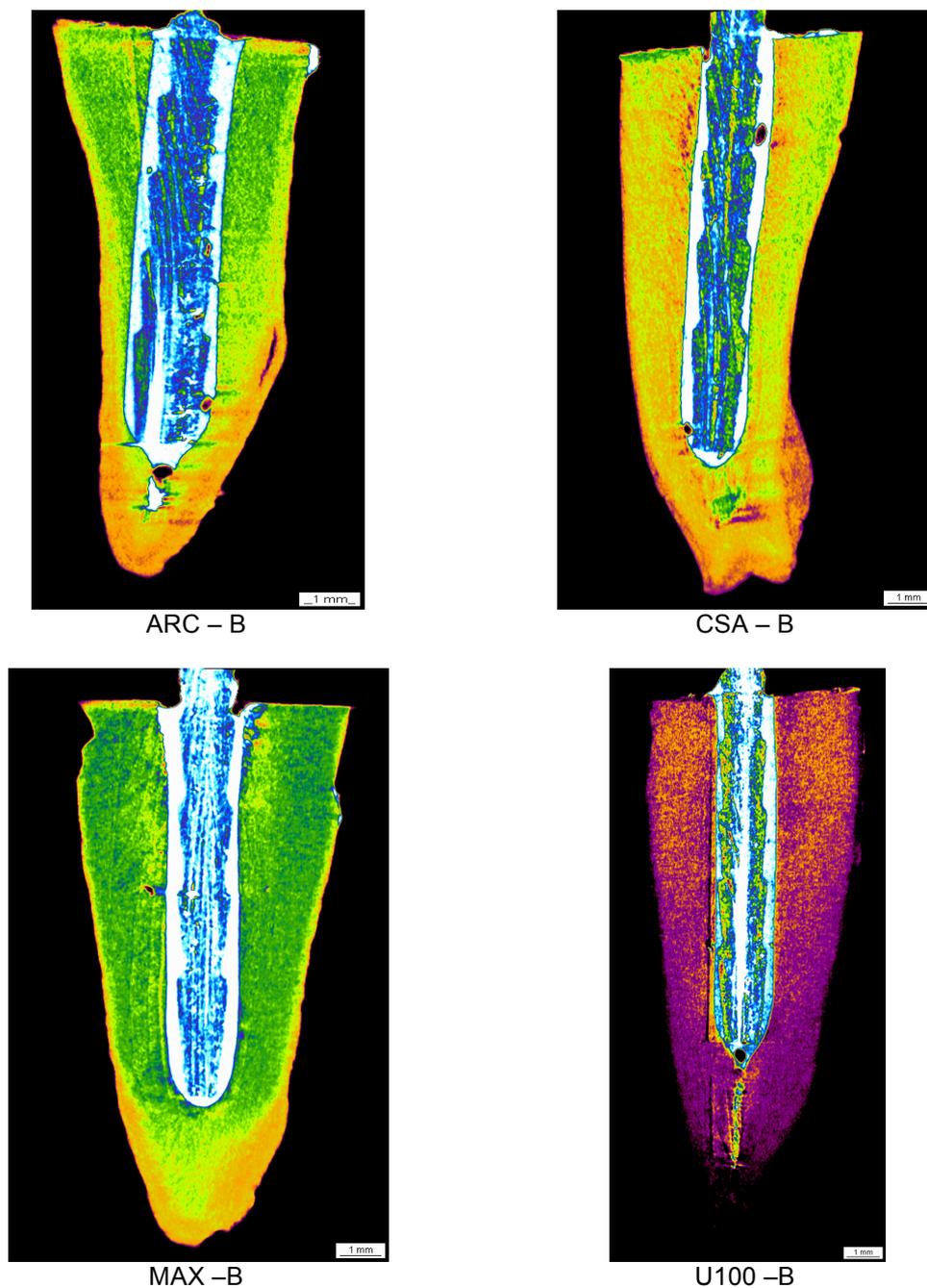


Figura 25 – Imagens com escala de espécimes do grupo B obtidas por meio do software CTvox.

O número e o tamanho das bolhas/ espaços vazios foram visualmente menores para os espécimes do grupo B (manipulados segundo as instruções do fabricante, porém inseridos com a ponta agulha da seringa centrix), conforme imagem 25.

As médias e desvio padrão do percentual de bolhas (ou espaços vazios) na interface de cimentação, considerando-se as variáveis material, terços e técnica de inserção, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Média e desvio padrão do percentual (%) de bolhas (ou espaços vazios) considerando as variáveis material, terços e técnica de inserção (n=5).

Técnica \ Terço	C	M	A
ARC - A	4,08 (2,11)Aa	4,04 (3,24) Aa	2,45 (2,63) Aa
ARC - B	1,46 (1,55)Aa	0,23 (0,40) Aa	0,49 (0,65) Aa
U 100 - A	8,26 (3,07)Ab	6,92 (6,13) Ab	8,73 (10,32) Ab
U100 - B	1,93 (2,37)Aa	0,47 (0,36) Aa	0,21 (0,14) Aa
CSA - A	2,31 (1,98)Aa	4,56 (3,83) Aa	4,91 (4,50) Aa
CSA - B	5,34 (6,34)Aa	2,08 (2,05) Aa	2,17 (0,57) Aa
MAX - A	5,45 (3,98)Aa	2,29 (1,85) Aa	3,51 (3,40) Aa
MAX - B	0,82 (0,30)Aa	0,17 (0,23) Aa	0,25 (0,18) Aa

Letras maiúsculas distintas indicam diferenças estatisticamente significantes entre colunas na mesma linha ($p < 0,05$)

Letras minúsculas distintas indicam diferenças estatisticamente significantes entre linhas na mesma coluna ($p < 0,05$)

Como pode ser observado na Tabela 1, apenas o cimento U100, quando manipulado e inserido segundo as recomendações do fabricante, exibiu resultados estatisticamente significantes, sendo o percentual de bolhas superior ao dos demais cimentos para esta técnica.

Em relação ao percentual de bolhas na interface, a análise de variância a 3 critérios apontou que os fatores isolados material e técnica de inserção foram significantes: material ($p = 0,025807$), técnica ($p < 0,0001$). Houve interação entre as variáveis material e técnica de inserção ($p < 0,001$). O fator terço não foi significativo ($p = 0,332$) (Tabela 2)

Tabela 2 - Médiado percentual (%)de bolhas (ou espaços vazios) por raiz, considerando as variáveis material (cimento) e técnica de inserção.

Cimento Técnica	ARC	U100	CSA	MAX
	Fabricante (A)	3,52Aa	7,97Bb	3,93Aa
Centrix (B)	0,73Aa	0,87Aa	3,20Aa	0,41Aa

Letras maiúsculas diferentes denotam diferenças estatísticas na mesma coluna ($p < 0,05$)

Letras minúsculas diferentes denotam diferenças estatísticas na mesma linha ($p < 0,05$)

Na Tabela 2, novamente observa-se que o cimento auto-adesivo U100 exibiu um percentual de bolhas por raiz estatisticamente superior aos demais cimentos, quando a técnica do fabricante foi utilizada.

5.2 EXPERIMENTO 2 - RESISTÊNCIA DE UNIÃO

As médias e desvio padrão da resistência de união considerando-se as variáveis material, terços e técnica de inserção, encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Média e desvio padrão (MPa) de resistência de união considerando as variáveis material, terços e técnica de inserção.

Terço Técnica	C	M	A
ARC - A	9,61 (2,71)Ad	6,71 (3,29)Bd	4,82 (1,57)Cd
ARC - B	16,46 (4,15)Acd	9,13 (3,67)Bcd	5,35 (1,53)Ccd
U 100 - A	14,81 (2,54)Ac	14,00 (6,20)Bc	9,10 (4,02)Cc
U100 - B	24,91 (5,91)Ab	22,38 (5,89)Bb	17,42 (9,30)Cb
CSA - A	12,78 (2,73)Acd	9,46 (1,27)Bcd	6,92 (3,55)Ccd
CSA - B	33,04 (0,67)Aa	28,65 (5,18)Ba	27,51 (5,71)Ca
MAX - A	15,17 (3,37)Acd	11,42 (4,89)Bcd	6,67 (3,66)Ccd
MAX - B	24,60 (1,39)Ab	20,98 (2,12)Bb	15,24 (4,28)Cb

Letras maiúsculas distintas indicam diferenças estatisticamente significantes entre colunas na mesma linha ($p < 0,05$)

Letras minúsculas distintas indicam diferenças estatisticamente significantes entre linhas na mesma coluna ($p < 0,05$)

A análise de variância a 3 critérios para o teste de resistência de união apontou que os fatores isolados material, técnica de inserção e terços foram estatisticamente significantes: material ($p < 0,0001$), técnica ($p < 0,0001$), terços ($p < 0,0001$). Houve interação entre as variáveis material e técnica de inserção ($p < 0,0001$).

Analisando-se a Tabela 3, verifica-se que a técnica de cimentação foi estatisticamente significativa apenas para os cimentos auto-adesivos, que tiveram sua resistência de união aumentada quando do uso da seringa centrix. O cimento resinoso dual ARC não exibiu diferença estatisticamente significativa quando aplicadas as técnicas A ou B de cimentação. Observa-se, também, que a resistência de união sofreu uma redução estatisticamente significativa em direção apical, sendo o terço cervical estatisticamente superior ao terço médio, e este estatisticamente superior ao terço apical para todos os grupos e técnicas analisados.

O coeficiente de correlação de Pearson foi aplicado para análise do grau da correlação entre as variáveis resistência de união e o percentual de bolhas (ou espaços vazios). Não houve correlação entre os valores de resistência de união e porcentagem de bolhas na interface (-,0448); $p=,610$. Isto significa que a resistência de união não foi reduzida nas regiões onde um maior percentual de bolhas ou espaços vazios foi observada.

6 DISCUSSÃO

6.1 MICROTOMOGRAFIA

No presente estudo, a Microtomografia (MicroCT) mostrou-se um método interessante e viável para a identificação de artefatos produzidos na interface de cimentação durante a inserção de pinos de fibra de vidro. Tendo em vista que o processo de obtenção das imagens é não-destrutivo, as características internas de um mesmo espécime puderam ser examinadas várias vezes, sob diferentes aspectos, e os mesmos permaneceram intactos para a utilização em experimentos mecânicos. No tradicional método de corte, parte do tecido ou material dentário é perdido e apenas um número limitado de secções pode ser obtido e observado (95). Uma grande quantidade de informações pode ser adquirida a partir de um mesmo escaneamento e cada fatia pode ser recriada e representada a partir de imagens 2D e 3D, que podem ser analisadas qualitativa e quantitativamente (21).

O método de microCT apresenta várias vantagens, incluindo a reprodutibilidade, agilidade e imparcialidade na aquisição das imagens. Além disso, o software pode ser usado para reconstruir em qualquer tempo os arquivos salvos, de forma rápida, para inspeção de estruturas externas e internas (96).

Na análise visual das imagens obtidas a partir do escaneamento das raízes, um grande número de bolhas e espaços vazios foi observado quando os cimentos resinosos foram inseridos segundo as instruções dos fabricantes, comparado ao uso da seringa centrix. Entretanto, exceto para o cimento U100, cujo percentual de bolhas foi estatisticamente superior para a técnica do fabricante, os demais cimentos

não exibiram diferença estatisticamente significativa para as diferentes técnicas de inserção. Um estudo prévio (98) que utilizou análise bidimensional para avaliação da linha de cimentação de pinos de fibra demonstrou que quando o cimento era aplicado diretamente dentro do conduto com um dispositivo para esta finalidade a presença de bolhas era significativamente reduzida em comparação à técnica convencional.

No estudo de Lorenzoni *et al.*(96) a análise microtomográfica volumétrica do espaço de cimentação de um pino de fibra mostrou uma porcentagem de 9,89% de bolhas e artefatos de cimentação, bem como uma superfície de contato 60,63% maior entre o agente cimentante e a dentina quando comparado à superfície cimento-pino de fibra. Segundo o autor, embora a técnica de microtomografia apresente inúmeras vantagens, existem limitações relacionadas ao potencial para a descoberta e quantificação de bolhas pequenas (por exemplo, 1 a 100 μm), que poderiam não ser detectáveis. Esta limitação potencial poderia estar relacionada com o processo de segmentação e com a resolução do microtomógrafo. Entretanto, a grande quantidade de macro porosidades é considerada o principal problema durante a técnica de cimentação adesiva intra-radicular (95, 96, 98).

Um grande número de bolhas foi observado para os grupos A (inserção segundo o fabricante). Entretanto, para todos os cimentos analisados, a distribuição das bolhas ao longo da linha de cimentação não seguiu um padrão homogêneo, sendo observadas e quantificadas bolhas de diferentes tamanhos ao longo dos três terços das raízes. A análise visual das imagens microtomográficas evidenciou uma tendência ao maior número de bolhas quando o diâmetro do conduto encontrava-se aumentado. A partir desta observação, poderia-se especular que pinos

customizados/ anatomizados produziram uma interface de cimento mais homogênea, uma vez que a espessura da linha de cimento poderia ser reduzida.

A relação da forma do pino e da espessura e volume de cimento com a presença e a distribuição de bolhas e espaços vazios na camada de cimento em pré-molares com condutos ovais foi analisada por Rengo *et al.*(95) em um estudo microtomográfico. Seus resultados não evidenciaram diferenças estatisticamente significantes no volume de bolhas encontradas em diferentes grupos (pinos circulares e ovais), entretanto, um grande número de bolhas foi observado na região apical de condutos ovais. Os autores salientam que condutos ovais podem ser problemáticos no que diz respeito à limpeza e técnica de cimentação, bem como uma maior quantidade de tecido hígido pode ser sacrificada durante o preparo do conduto para adaptação do pino.

6.2 RESISTÊNCIA DE UNIÃO

Não houve correlação entre o percentual de bolhas e os valores de resistência de união para nenhum dos materiais analisados. Isto sugere que a resistência de união final do pino de fibra à dentina intra-radicular pode ser resultante de um conjunto de fatores, como as propriedades físico-químicas do agente cimentante, técnica de inserção, percentual de cargas e viscosidade, capacidade de molhamento do cimento, diâmetro do conduto, características do preparo e do substrato ao qual ele irá se aderir, dentre outros (25, 99, 100).

A resistência de união foi decrescente em direção apical. Esses dados são corroborados por diversos estudos que analisaram o comportamento dos cimentos resinosos em ambiente intra-radicular, e decorre de vários fatores, dentre eles as

inúmeras variáveis envolvidas na técnica adesiva intra-radicular, como o controle da umidade, da quantidade e evaporação do adesivo, agentes químicos de limpeza, acesso à luz no interior do conduto, fator C dentre outros (8,9,10,11,12,13).

No que diz respeito à influência da espessura da linha de cimento resinoso sobre a resistência de união de pinos de fibra, não há consenso na literatura sobre a espessura ideal da interface de cimento resinoso para otimizar a retenção de um pino (95). Alguns estudos de resistência de união sugerem que a espessura de cimento não afeta significativamente a resistência de união dos pinos de fibra à dentina radicular (101, 102).

No estudo microtomográfico de Rengo *et al.* (95), um grande volume de bolhas foi encontrado no terço apical de condutos ovais, o que os autores atribuem ao reduzido volume do pino nesta região quando comparado ao volume de cimento, associado às dificuldades técnicas de acesso e aos diferentes formatos de condutos. Um estudo prévio (104) demonstrou que a resistência de união de pinos anatomizados foi superior a dos pinos não anatomizados. Este autor sugere que a espessura da linha de cimento poderia influenciar o comportamento dessas restaurações durante a função.

O mecanismo de adesão do U100 parece ser de natureza predominantemente química, e menos micromecânica. Esta ligação é estabelecida por meio de monômeros metacrilatos multifuncionais fosforilados, que são ionizados no momento da mistura e, em seguida, reagem com a hidroxiapatita da porção mineral do tecido dentário. De acordo com as informações do fabricante, o Maxcem Elite também contém monômeros acídicos, bem como glicerol dimetacrilato dihidrogênio fosfato (GPDM), responsável por parte do mecanismo adesivo desenvolvido por este cimento à dentina.

Dentre os fatores que possivelmente influenciam a habilidade dos cimentos auto-adesivos se unirem ao substrato estão, além de sua composição química, sua viscosidade e pH. O cimento Maxcem Elite tende a manter seu pH baixo (2,2), enquanto o pH do cimento U100 aumenta em 24h (de 2,8 para 7,0). Especula-se que a manutenção do pH baixo poderia ter um efeito adverso sobre a resistência de união dos cimentos auto-adesivos à dentina radicular (94). Entretanto, esse fato não foi observado neste estudo.

Os resultados dos testes de extrusão dos pinos apontaram que o uso da ponta agulha da seringa centrix para aplicação do cimento influenciou a resistência de união à dentina radicular para os cimentos auto-adesivos testados. Poderia-se especular que a técnica B (uso da ponta agulha da seringa centrix) aumentou o contato desses cimentos com o substrato, favorecendo o molhamento do mesmo e, conseqüentemente, a adesão. Este fato foi significativo para os cimentos auto-adesivos, que, sabidamente, dependem de maior contato para reagir com a hidroxiapatita.

O grande percentual de bolhas e lacunas observadas na interface do cimento auto-adesivo U100 não influenciou os seus valores de resistência de união. O cimento auto-adesivo CSA apresentou os maiores valores médios de resistência de união para a técnica centrix, apesar do percentual de bolhas ter se mostrado semelhante para ambas as técnicas. Estes dois cimentos sofreram menor influência dos artefatos sobre a resistência de união. Em um estudo anterior (103), Clearfil SA Cement apresentou os menores valores de stress, independentemente do tempo de exposição, o que mostra que o desempenho é provavelmente material-dependente e correlacionado com a composição de cada cimento. Segundo o fabricante, o Clearfil SA Cement possui em sua formulação o MDP (10 Metacriloiloxidecil dihidrogênio

fosfato), um potente monômero fosfatado. Este monômero exibiria alta resistência de união a tecido duro, metais (como ouro, prata, titânio, aço inoxidável, alumínio), óxidos de metais (por exemplo, dióxido de zircônio, alumina), incluindo compósitos e cargas inorgânicas. As características adesivas excepcionais se dariam devido a estrutura química deste monômero: um grupo de polimerização di-hidrogenofosfato, e uma cadeia longa de carbono (alquilenos). Além disso, uma dissolubilidade menor é observada graças à ligação química muito estável à superfície de hidroxilapatita.

Sabe-se que a composição da matriz resinosa pode influenciar as tensões internas no cimento, tendo em vista que esta influencia o grau de conversão e a densidade de ligações cruzadas. Diferenças na composição e densidade de ligações cruzadas influenciam o módulo de elasticidade, o que, por sua vez, afeta a tensão de polimerização. Uma alta densidade de ligações cruzadas pode originar polímeros mais duros, e maiores níveis de estresse de polimerização (100, 103). No entanto, a função exata de cada componente sobre as propriedades finais destes materiais ainda não foi esclarecida. A formulação dos cimentos auto-adesivos é complexa e apenas parcialmente revelada pelos fabricantes, o que dificulta a explanação de todos os fenômenos ocorridos durante sua manipulação, inserção e polimerização.

O cimento resinoso convencional ARC não exibiu diferença estatisticamente significativa entre as duas técnicas de cimentação, apesar do percentual de bolhas ter sido o dobro para a técnica do fabricante. Rengo *et al.* (95) identificou maior número de bolhas no terço cervical dos espécimes, uma região onde usualmente são encontrados os maiores valores de resistência de união. Os autores especulam que a presença de bolhas não representaria “pontos fracos” na resistência de união local, mas, pelo contrário, atuariam como regiões de alívio de tensões dentro do

material. As bolhas, observadas em todas as regiões dos condutos, devem-se, principalmente, ao volume de cimento necessário quando o diâmetro do pino e do conduto são incompatíveis. Estes dados reforçam que a resistência de união à dentina intra-radicular é provavelmente influenciada por muitos fatores (25, 30, 97, 100,101, 102).

A média dos valores de resistência de união foi menor para o cimento resinoso convencional ARC do que para os cimentos auto-adesivos, quando do uso da centrix. Esses dados sugerem que a resistência de união deste cimento parece ser mais dependente de uma imbricação mecânica do que da interação química do cimento como substrato. Valores de tensão mais elevados após polimerização de cimento dual convencional em comparação com três materiais auto-adesivos já foram previamente demonstrados (103). A seringa centrix parece ter otimizado o contato do cimento resinoso com a dentina radicular, o que foi significativo para os materiais auto-adesivos.

O fator de configuração cavitária - Fator C - no interior do conduto já foi apontado em diversos estudos como extremamente elevado (25, 103), e responsável por parte dos artefatos produzidos quando um material resinoso é polimerizado em uma configuração de confinamento. O Fator-C do espaço endodôntico é considerado o principal fator no desenvolvimento de tensões de contração, tendo em vista que o alívio de tensões é dificultado pela configuração do conduto. Seria interessante um maior conhecimento acerca da cinética de polimerização e do comportamento elástico destes novos materiais. Um elevado índice de polimerização ou um comportamento inadequado do material frente aos estresses sofridos durante a polimerização dentro de uma cavidade

geometricamente adversa pode desafiar a interação micromecânica recém estabelecida pelo cimento resinoso auto-adesivo (20, 25, 51).

Adicionalmente, a adaptação não-uniforme do material de ligação ou a sua polimerização incompleta pode dificultar a técnica de cimentação adesiva (101, 102). Uma vez que a área de superfície não aderente dentro do canal radicular é reduzida, a consequência direta é o insuficiente alívio dos estresses decorrentes da polimerização (51). Esses fatores podem explicar os menores valores de resistência adesiva observados para todos os cimentos nos terços médio e apical da raiz. Em particular para os grupos A, onde não foi utilizada a ponta aplicadora, os materiais podem ainda não ter alcançado uniformemente a porção mais profunda do conduto. Como mencionado, o desfavorável C-fator pode ter contribuído para maximizar a tensão de polimerização desses materiais ao longo do canal radicular.

Lorenzoniet *al.*(96) atesta que a configuração afunilada do terço cervical resulta na camada mais espessa de cimento, onde grande parte das bolhas ficariam concentradas. Embora haja um melhor acesso à luz de polimerização e controle de umidade, especula-se que a presença de bolhas na interface cervical poderia ser um fator que contribui para a instabilidade, apesar de fornecer uma superfície livre para cimento resinoso contrair e liberar estresses durante a polimerização. Mas para confirmar se isso resultaria em melhores valores de resistência de união seriam necessárias mais investigações.

Infelizmente, os estudos *in vitro* não são capazes de reproduzir exatamente as condições existentes *in vivo*, tendo em vista que nos primeiros as forças são aplicadas apenas em sentido axial, enquanto as forças *in vivo* são, em sua maioria, multidirecionais.

Dentro das limitações do estudo, a indicação de cimentos auto-adesivos para a cimentação de pinos intra-radulares de fibra de vidro mostra-se uma alternativa viável. A utilização de técnicas que reduzam a quantidade/ volume na incorporação de bolhas são úteis.

Apesar das dificuldades na simulação das condições intrabucais in vitro, principalmente no que diz respeito aos padrões de estresse e umidade, os resultados desse experimento evidenciam os obstáculos na obtenção de uma adequada interface adesiva em ambiente intra-radicular. Quando testes de resistência de união são utilizados, é importante considerar as diferentes formulações das marcas avaliadas, tendo em vista que as mesmas influenciam o molhamento e o contato do cimento com as paredes, influenciando, conseqüentemente, as propriedades mecânicas desenvolvidas pelo material (68). Não existe na literatura um valor de resistência de união considerado 'ideal' para um compósito em ambiente intra-oral (79). Apesar disso, os testes de resistência de união permitem verificar a efetividade dos componentes auto e fotopolimerizáveis presentes nos cimentos de polimerização dual (77).

Diante do exposto, fica claro ainda que o comportamento dos cimentos resinosos pode variar de maneira significativa quando inserido em uma cavidade com as conformações de um conduto radicular, em decorrência das diversas variáveis envolvidas como o controle da umidade, da quantidade e evaporação do adesivo, agentes químicos de limpeza, acesso à luz no interior do conduto, fator C dentre outros.

Portanto, estudos clínicos controlados devem ser conduzidos para corroborar os dados laboratoriais acerca dos prováveis resultados clínicos da adesão intra-radicular em longo prazo.

Ressalta-se, neste estudo, o potencial de vantagens de se utilizar imagens microtomográficas fornecidas por *softwares* de reconstrução tridimensionais, de mensuração e quantificação de defeitos, combinadas aos testes de extrusão, para uma análise mais detalhada da interface pino-cimento-dentina radicular, e das variáveis que podem influenciar a cimentação adesiva neste cenário.

7 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. A microtomografia mostrou-se um método eficaz na visualização e quantificação de bolhas na interface de cimentação intra-radicular. As imagens mostraram bolhas menores e em menor número para a técnica de inserção com seringa centrix.
2. A técnica de inserção do cimento com seringa centrix foi estatisticamente significativa na redução das bolhas e artefatos apenas para o cimento U100
3. A distribuição de bolhas ao longo dos terços cervical, médio e apical foi heterogênea e não seguiu um padrão.
4. A resistência de união foi maior no terço cervical, seguida pelos terços médio e apical, independentemente da distribuição das bolhas por terço.
5. Não houve relação entre os valores de resistência de união e a localização e volume de bolhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Goracci C, Ferrari M. Current perspectives on post systems: a literature review. *Austr Dent J*. 2011 Jan; 56(1 Suppl):77-83.
2. Cagidiaco MC, Goracci C, Garcia-Godoy F, Ferrari M. Clinical studies of fiber posts: a literature review. *Int J Prosthodont*. 2008 Jul-Aug;21(4):328-36.
3. Dietschi D, Duc O, Krejci I, Sadan A. Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: a systematic review of the literature, Part II (Evaluation of fatigue behavior, interfaces, and in vivo studies). *Quintessence Int*. 2008 Feb;39(2):117-29.
4. Carvalho RM. Sistemas adesivos: fundamentos para a aplicação clínica. *Biodonto*. 2004 Jan/Fev;2(1):89p.
5. Ceballos L, Garrido MA, Fuentes V, Rodriguez J. Mechanical characterization of resin cements used for luting fiber posts by nanoindentation. *Dent Mater*. 2007 Jan; 23(1):100-5.
6. Cury AH, Goracci C, de Lima Navarro MF, Carvalho RM, Sadek FT, Tay FR et al. Effect of hygroscopic expansion on the push-out resistance of glass ionomer-based cements used for the luting of glass fiber posts. *J Endod*. 2006 Jun;32(6):537-40.
7. Scotti R, Ferrari M. *Pinos de Fibra: Considerações Teóricas e Aplicações Clínicas*. São Paulo: Artes Médicas; 2002.
8. Tjan AH, Nemetz H. Effect of eugenol-containing endodontic sealer on retention of prefabricated posts luted with adhesive composite resin cement. *Quintessence Int*. 1992 Dec;23(12):839-44.
9. Morris MD, Lee KW, Agee KA, Bouillaguet S, Pashley DH. Effects of sodium hypochlorite and RC-prep on bond strengths of resin cement to endodontic surfaces. *J Endod*. 2001 Dec;27(12):753-7.
10. Ngoh EC, Pashley DH, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF. Effects of

- eugenol on resin bond strengths to root canal dentin. *J Endod.* 2001 Jun;27(6):411-4.
11. Ari H, Yasar E, Belli S. Effects of NaOCl on bond strengths of resin cements to root canal dentin. *J Endod.* 2003 Apr;29(4):248-51.
12. Asmussen E, Peutzfeldt A. Polymer structure of a light-cured resin composite in relation to distance from the surface. *Eur J Oral Sci.* 2003 Jun;111(3):277-9.
13. Erdemir A, Eldeniz AU, Belli S, Pashley DH. Effect of solvents on bonding to root canal dentin. *J Endod.* 2004 Aug;30(8):589-92.
14. Sanares AM, Itthagarun A, King NM, Tay FR, Pashley DH. Adverse surface interactions between one-bottle light-cured adhesives and chemical-cured composites. *Dent Mater.* 2001 Nov;17(6):542-56.
15. Tay FR, Pashley DH, Yiu CK, Sanares AM, Wei SH. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cured or dual-cured composites. Part I. Single-step self-etching adhesive. *J Adhes Dent.* 2003 Spring;5(1):27-40.
16. Tay FR, Suh BI, Pashley DH, Prati C, Chuang SF, Li F. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and self-cured or dual-cured composites. Part II. Single-bottle, total-etch adhesive. *J Adhes Dent.* 2003 Summer;5(2):91-105.
17. Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Itthagarun A. Single-step adhesives are permeable membranes. *J Dent.* 2002 Sep-Nov;30(7-8):371-82.
18. Tay FR, Pashley DH, Garcia-Godoy F, Yiu CK. Single-step, self-etch adhesives behave as permeable membranes after polymerization. Part II. Silver tracer penetration evidence. *Am J Dent.* 2004 Oct;17(5):315-22.
19. Wang VJ, Chen YM, Yip KH, Smales RJ, Meng QF, Chen L. Effect of two fiber post types and two luting cement systems on regional post retention using the push-out test. *Dent Mater.* 2008 Mar;24(3):372-7.
20. Goracci C, Fabianelli A, Sadek FT, Papacchini F, Tay FR, Ferrari M. The contribution of friction to the dislocation resistance of bonded fiber posts. *J Endod.*

2005 Aug;31(8):608-12.

21. Soviero VM, Leal SC, Silva RC, Azevedo RB. Validity of MicroCT for in vitro detection of proximal carious lesions in primary molars. *Journal of Dentistry*. 2012 Jan; 40(1):35-40.

22. Chirani RA, Jacq JJ, Chevalier V, Calas P. Microtomography: a method to assess root canal geometry and changes after endodontic preparation. *European Cells and Materials*, 2007 Jan; 13 suppl. 1, 6.

23. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. A methodology for quantitative evaluation of root canal instrumentation using microcomputed tomography. *International Endodontic Journal*. 2001 Jul; 34(5): 390–398.

24. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Evaluation of root canal obturation: a three dimensional in vitro study. *J Endod*. 2009 Apr; 35(4):541-4.

25. Bouillaguet S, Troesch S, Wataha JC, Krejci I, Meyer JM, Pashley DH. Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. *Dent Mater*. 2003 May;19(3):199-205.

26. Zorzin J, Petschelt A, Ebert J, Lohbauer U. pH neutralization and influence on mechanical strength in self-adhesive resin luting agents. *Dent Mater*. 2012 Jun; 28(6):672-9.

27. Heydecke G, Peters MC. The restoration of endodontically treated, single-rooted teeth with cast or direct posts and cores: a systematic review. *J Prosthet Dent*. 2002 Apr;87(4):380-6.

28. Naumann M, Preuss A, Frankenberger R. Reinforcement effect of adhesively luted fiber reinforced composite versus titanium posts. *Dent Mater*. 2007 Feb;23(2):138-44.

29. Fernandes AS, Shetty S, Coutinho I. Factors determining post selection: a literature review. *J Prosthet Dent*. 2003 Dec;90(6):556-62.

30. Ferrari M, Mannocci F, Vichi A, Cagidiaco MC, Mjor IA. Bonding to root canal: structural characteristics of the substrate. *Am J Dent*. 2000 Oct;13(5):255-60.

31. Hayashi M, Takahashi Y, Imazato S, Ebisu S. Fracture resistance of pulpless teeth restored with post-cores and crowns. *Dent Mater.* 2006 May;22(5):477-85.
32. Monticelli F, Grandini S, Goracci C, Ferrari M. Clinical behavior of translucent-fiber posts: a 2-year prospective study. *Int J Prosthodont.* 2003 Nov-Dec;16(6):593-6.
33. Peroz I, Blankenstein F, Lange KP, Naumann M. Restoring endodontically treated teeth with posts and cores - a review. *Quintessence Int.* 2005 Oct;36(9):737-46.
34. Robbins JW. Restoration of the endodontically treated tooth. *Dent Clin North Am.* 2002 Apr;46(2):367-84.
35. Torbjorner A, Fransson B. A literature review on the prosthetic treatment of structurally compromised teeth. *Int J Prosthodont.* 2004;17(3):369-76.
36. Yoldas O, Alacam T. Microhardness of composites in simulated root canals cured with light transmitting posts and glass-fiber reinforced composite posts. *J Endod.* 2005 Feb;31(2):104-6.
37. Goto Y, Nicholls JI, Phillips KM, Junge T. Fatigue resistance of endodontically treated teeth restored with three dowel-and-core systems. *J Prosthet Dent.* 2005 Jan;93(1):45-50.
38. Ferrari M, Mason PN, Goracci C, Pashley DH, Tay FR. Collagen degradation in endodontically treated teeth after clinical function. *J Dent Res.* 2004 May;83(5):414-9.
39. Nakabayashi N, Pashley DH. *Hibridização dos tecidos dentais duros.* São Paulo. Quintessence Editora. 2000. 129p.
40. Kumbuloglu O, Lassila LV, User A, Vallittu PK. A study of the physical and chemical properties of four resin composite luting cements. *Int J Prosthodont.* 2004 May-Jun;17(3):357-63.
41. Diaz-Arnold AM, Vargas MA, Haselton DR. Current status of luting agents for fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent.* 1999 Feb;81(2):135-41.

42. Hersek NE, Canay S. In vivo solubility of three types of luting cement. *Quintessence Int.* 1996 Mar;27(3):211-6.
43. Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ. Dental luting agents: A review of the current literature. *J Prosthet Dent.* 1998 Sep;80(3):280-301.
44. Hasegawa EA, Boyer DB, Chan DC. Hardening of dual-cured cements under composite resin inlays. *J Prosthet Dent.* 1991 Aug;66(2):187-92.
45. Hofmann N, Papsthart G, Hugo B, Klaiber B. Comparison of photo-activation versus chemical or dual-curing of resin-based luting cements regarding flexural strength, modulus and surface hardness. *J Oral Rehabil.* 2001 Nov;28(11):1022-8.
46. Bachicha WS, Difio PM, Miller DA, Lautenschlager EP, Pashley DH. Microleakage of endodontically treated teeth restored with posts. *J Endod.* 1998 Nov;24(11):703-8
47. Sahafi A, Peutzfeldt A, Ravnholt G, Asmussen E, Gottfredsen K. Resistance to cyclic loading of teeth restored with posts. *Clin Oral Investig.* 2005 Jun;9(2):84-90.
48. Sigeromi RM, Reis AF, Giannini M, Paulillo LA. Curing depth of a resin-modified glass ionomer and two resin-based luting agents. *Oper Dent.* 2005 Mar-Apr;30(2):185-9.
49. Torbjorner A, Karlsson S, Odman PA. Survival rate and failure characteristics for two post designs. *J Prosthet Dent.* 1995 May;73(5):439-44.
50. Seefeld F, Wenz HJ, Ludwig K, Kern M. Resistance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post systems. *Dent Mater.* 2007 Mar;23(3):265-71.
51. Tay FR, Loushine RJ, Lambrechts P, Weller RN, Pashley DH. Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: a theoretical modeling approach. *J Endod.* 2005 Aug;31(8):584-9.
52. Roberts HW, Leonard DL, Vandewalle KS, Cohen ME, Charlton DG. The effect of a translucent post on resin composite depth of cure. *Dent Mater.* 2004 Sep;20(7):617-22.

53. Yiu CK, King NM, Carrilho MR, SAURO S, Rueggeberg FA, Prati C. Effect of resin hydrophilicity and temperature on water sorption of dental adhesive resins. *Biomaterials*. 2006 Mar;27(9):1695-703.
54. Yiu CK, King NM, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Carrilho MR. Effect of resin hydrophilicity and water storage on resin strength. *Biomaterials*. 2004 Nov;25(26):5789-96.
55. Ferrari M, Vichi A, Grandini S, Geppi S. Influence of microbrush on efficacy of bonding into root canals. *Am J Dent*. 2002 Aug;15(4):227-31.
56. Carrilho MR, Tay FR, Pashley DH, Tjaderhane L, Carvalho RM. Mechanical stability of resin-dentin bond components. *Dent Mater*. 2005 Mar;21(3):232-41.
57. Suh BI, Feng L, Pashley DH, Tay FR. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cured or dual-cured composites. Part III. Effect of acidic resin monomers. *J Adhes Dent*. 2003 Winter;5(4):267-82.
58. Chersoni S, Acquaviva GL, Prati C, Ferrari M, Grandini S, Pashley DH. In vivo fluid movement through dentin adhesives in endodontically treated teeth. *J Dent Res*. 2005 Mar;84(3):223-7.
59. Chersoni S, Suppa P, Breschi L, Ferrari M, Tay FR, Pashley DH. Water movement in the hybrid layer after different dentin treatments. *Dent Mater*. 2004 Nov;20(9):796-803.
60. Chersoni S, Suppa P, Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Yiu C. In vivo and in vitro permeability of one-step self-etch adhesives. *J Dent Res*. 2004 Jun;83(6):459-64.
61. Tay FR, Frankenberger R, Krejci I, Bouillaguet S, Pashley DH, Carvalho RM. Single-bottle adhesives behave as permeable membranes after polymerization. I. In vivo evidence. *J Dent*. 2004 Nov;32(8):611-21.
62. Ferrari M, Vichi A, Grandini S, Goracci C. Efficacy of a self-curing adhesive-resin cement system on luting glass-fiber posts into root canals: an SEM investigation. *Int J Prosthodont*. 2001 Nov-Dec;14(6):543-9.

63. Lui JL. Depth of composite polymerization within simulated root canals using light-transmitting posts. *Oper Dent*. 1994 Sep-Oct;19(5):165-8.
64. Ferracane JL. Developing a more complete understanding of stresses produced in dental composites during polymerization. *Dent Mater*. 2005 Jan;21(1):36-42.
65. Ferracane JL. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater*. 2006 Mar;22(3):211-22.
66. Soh MS, Yap AU. Influence of curing modes on crosslink density in polymer structures. *J Dent*. 2004 May;32(4):321-6.
67. Emami N, Soderholm KJ. How light irradiance and curing time affect monomer conversion in light-cured resin composites. *Eur J Oral Sci*. 2003 Dec;111(6):536-42.
68. Ferracane JL. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater*. 1985 Feb;1(1):11-4.
69. Ortengren U, Wellendorf H, Karlsson S, Ruyter IE. Water sorption and solubility of dental composites and identification of monomers released in an aqueous environment. *J Oral Rehabil*. 2001 Dec;28(12):1106-15.
70. Asmussen E. Factors affecting the quantity of remaining double bonds in restorative resin polymers. *Scand J Dent Res*. 1982 Dec;90(6):490-6.
71. Koupis NS, Vercruyse CW, Marks LA, Martens LC, Verbeeck RM. Curing depth of (polyacid-modified) composite resins determined by scraping and a penetrometer. *Dent Mater*. 2004 Dec;20(10):908-14.
72. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW, JR., Davis HC. Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. *Am J Dent*. 1993 Apr;6(2):91-5.
73. El-Badrawy WA, El-Mowafy OM. Chemical versus dual curing of resin inlay cements. *J Prosthet Dent*. 1995 Jun;73(6):515-24.
74. Rueggeberg FA, Caughman WF. The influence of light exposure on polymerization of dual-cure resin cements. *Oper Dent*. 1993 Mar-Apr;18(2):48-55.

75. Miller MB. Do we really need dual-cure cements? *Gen Dent*. 2004 Nov-Dec;52(6):494-5.
76. Breeding LC, Dixon DL, Caughman WF. The curing potential of light-activated composite resin luting agents. *J Prosthet Dent*. 1991 Apr;65(4):512-8.
77. Peutzfeldt A. Dual-cure resin cements: in vitro wear and effect of quantity of remaining double bonds, filler volume, and light curing. *Acta Odontol Scand*. 1995 Feb;53(1):29-34.
78. Darr AH, Jacobsen PH. Conversion of dual cure luting cements. *J Oral Rehabil*. 1995 Jan;22(1):43-7.
79. Braga RR, Cesar PF, Gonzaga CC. Mechanical properties of resin cements with different activation modes. *J Oral Rehabil*. 2002 Mar;29(3):257-62.
80. Vichi A, Grandini S, Ferrari M. Clinical procedure for luting glass-fiber posts. *J Adhes Dent*. 2001 Winter;3(4):353-9.
81. Carvalho RM, Pereira JC, Yoshiyama M, Pashley DH. A review of polymerization contraction: the influence of stress development versus stress relief. *Oper Dent*. 1996 Jan-Feb;21(1):17-24.
82. Feilzer AJ, Davuillier BS. Effect of TEGDMA/BisGMA ratio on stress development and viscoelastic properties of experimental two-paste composites. *J Dent Res*. 2003 Oct;82(10):824-8.
83. Braga RR, Ferracane JL. Contraction stress related to degree of conversion and reaction kinetics. *J Dent Res*. 2002 Feb;81(2):114-8.
84. Walls AW. Glass polyalkenoate (glass-ionomer) cements: a review. *J Dent*. 1986 Dec;14(6):231-46.
85. Radovic I et al. Self-adhesive resin cements: a literature review. *J Adhes Dent*. 2008 Aug;10(4):251-8.
86. Abo-Hamar SE, Hiller KA, Jung H, Federlin M, Friedl KH, Schmalz G. Bond strength of a new universal self-adhesive resin luting cement to dentin and enamel.

Clin Oral Investig.2005 Sep; 9(3):161-7.

87. Burke FJ. Trends in indirect dentistry:3. Luting materials. Dent Update. 2005 Jun; 32(5):251-4, 257-60.

88. De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. Dent Mater. 2004 Dec; 20(10):963-71.

89. Monticelli F, Osorio R, Mazzitelli C, Ferrari M, Toledano M. Limited decalcification/diffusion of self-adhesive cements into dentin. J Dent Res.2008 Oct; 87(10):974-9.

90. Goracci C, Cury AH, Cantoro A, Papacchini F, Tay FR, Ferrari M. Micro- tensile bond strength and interfacial properties of self-etching and self- adhesive resin cements used to lute composite onlays under different seating forces. J Adhes Dent. 2006 Oct; 8(5):327-35.

91. Hikita K, Van Meerbeek B, De Munck J, Ikeda T, Van Landuyt K, Maida T, Lambrechts P, Peumans M. Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. Dent Mater. 2007Jan; 23(1):71-80

92. De Angelis F, Minnoni A, Vitalone LM, Carluccio F, Vadini M, Paolantonio M, D'Arcangelo C. Bond strength evaluation of three self-adhesive luting systems used for cementing composite and porcelain. Oper Dent. 2011 Nov-Dec; 36(6):626-34.

93. Lührs AK, Guhr S, Günay H, Geurtsen W. Shear bond strength of self-adhesive resins compared to resin cements with etch and rinse adhesives to enamel and dentin in vitro. Clin Oral Invest.2010 Apr; 14(2):193-9.

94. Stona P, Borges GA, Montes MA, Júnior LH, Weber JB, Spohr AM. Effect of Polyacrylic Acid on the Interface and Bond Strength of Self-adhesive Resin Cements to Dentin. J Adhes Dent.2013 Jun; 15(3):221-7.

95. Rengo C, Spagnuolo G, Ametrano G, Juloski J, Rengo S, Ferrari M. Micro-computerized tomographic analysis of premolars restored with oval and circular posts. Clin Oral Investigation. 2014; 18(2):571-8.

96. Lorenzoni FC, Bonfante EA, Bonfante G, Martins LM, Witek L, Silva NR. MicroCT Analysis of a Retrieved Root Restored with the Bonded Fiber-Reinforced Composite Dowel: A Pilot Study. *Journal of Prosthodontics* 2013 Aug; 22(6):478-83.
97. Cantoro A, Goracci C, Vichi A, Mazzoni A, Fadda GM, Ferrari M. Retentive strength and sealing ability of new self-adhesive resin cements in fiber post luting. *Dental Materials*. 2011 Oct; 27(10):e197-204.
98. Watzke R, Blunk U, Frankenberger R. Interface homogeneity of adhesively luted glass fiber posts. *Dent Mater*. 2008 Nov; 24(11):1512-7.
99. Coniglio I, Magni E, Cantoro A, Goracci C, Ferrari M. Push-out bond strength of circular and oval-shaped fiber posts. *Clinical Oral Investigation*. 2011 Oct; 15(5):667-72.
100. Ferrari M, Carvalho C, Goracci C, Antonioli F, Mazzoni A, Mazzotti G. Influence of Luting Material Filler Content on Post Cementation. *J Dent Res*. 2009 Oct; 88(10):951-6.
101. Hagge MS, Wong RD, Lindemuth JS Effect of dowel space preparation and composite cement thickness on retention of a prefabricated dowel. *J Prosthodont*. 2002 Mar; 11(1):19-24.
102. Perez BE, Barbosa SH, Melo RM, Zamboni SC, Ozcan M, Valandro LF Does the thickness of the resin cement affect the bond strength of a fiber post to the root dentin? *Int J Prosthodont*. 2006 Nov-Dec; 19(6):606-9.
103. Frassetto A, Navarra CO, Marchesi G, Turco G, Di Lenarda R, Breschi L. Kinetics of polymerization and contraction stress development in self-adhesive resin cements. *Dent Mater*. 2012 Sep; 28(9):1032-9.
104. Faria-e-Silva AL, Pedrosa-Filho CF, Menezes MS, Silveira DM, Martins LR. Effect of relining on fiber post retention to root canal. *J Appl Oral Sci*. 2009 Nov-Dec; 17(6):600-4.

ANEXOS

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

As informações abaixo descreverão o estudo para o qual o senhor(a) está sendo convidado a participar que possui como título **“Avaliação do grau de conversão e da resistência de união de cimentos autocondicionantes à dentina intraradicular”**. O pesquisador poderá esclarecer todas as dúvidas que tiver a respeito do estudo e desta carta. Por favor, leia cuidadosamente e não deixe de perguntar qualquer coisa que considerar necessária sobre as informações fornecidas a seguir.

O(a) Senhor(a) poderá participar desta pesquisa por meio da doação de dente(s) pré-molares. Caso o(a) senhor(a) apresente algum dente pré-molar e que possua indicação de extração ou remoção do mesmo, a cirurgia será realizada por um profissional especializado na área, reforçando a questão de que nenhum procedimento implicará em custo extra para você. Sendo a extração destes dentes um procedimento cirúrgico, pode ocorrer desconforto passageiro, mas todas as instruções de pós-operatório, assim como a receita dos medicamentos que o(a) senhor(a) deverá fazer uso, serão esclarecidos pelo cirurgião responsável. A sua participação neste estudo o beneficiará diretamente no que se refere à necessidade de extração de dentes que não tinham mais condições de permanecer de forma saudável em sua boca, e permitirá aprofundar os conhecimentos sobre as cimentação de pinos para posterior restauração dos dentes.

Essa pesquisa será utilizada para obtenção do título de Doutora pela Faculdade de Ciências da Saúde, área de concentração Saúde Bucal, da pesquisadora responsável, Ana Paula Ribeiro do Vale Pedreira. A participação ou a recusa em participar da pesquisa não influenciará no atendimento que será realizado pelo Cirurgião Dentista responsável pelo seu caso.

A pesquisa em questão consiste na avaliação do comportamento de cimentos autocondicionantes, que é o agente utilizado para unir um pino ao conduto radicular, durante o procedimento restaurador. Os dentes doados serão limpos e armazenados em água até que possam ser restaurados no laboratório. Depois desses procedimentos os dentes serão analisados por meio de dois testes laboratoriais. Não será realizado nenhum procedimento no dente antes da extração dos mesmos.

Em caso de qualquer dúvida sobre a pesquisa o senhor(a) poderá entrar em contato com a pesquisadora responsável pelo e-mail aprval@yahoo.com.br ou pelo telefone **(61) 32973419**, ou, ainda, entrar em contato com o comitê de ética da Unb, responsável pela aprovação da pesquisa pelo e-mail cepfs@unb.br ou pelo telefone **(61) 3107-1947**. Os dados serão publicados em artigos científicos e na Tese.

Pelo presente instrumento que atende às exigências legais, o Sr. (a) _____ portador da cédula de identidade _____, após leitura minuciosa das informações

constantes neste **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**, devidamente explicada pelos profissionais em seus mínimos detalhes, ciente dos procedimentos aos quais será submetido, não restando quaisquer dúvidas a respeito do lido e explicado, firma seu **CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO** concordando em participar da pesquisa proposta.

Fica claro que o sujeito da pesquisa ou seu representante legal, pode a qualquer momento retirar seu **CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO** e deixar de participar desta pesquisa e ciente de que todas as informações prestadas tornaram-se confidenciais e guardadas por força de sigilo profissional (Art. 9º do Código de Ética Odontológica).

Por estarem de acordo assinam o presente termo.

Brasília- DF, _____ de _____ de _____

Doador de dente(s) para Pesquisa

Responsável pelo paciente

Cirurgião Dentista responsável pela extração

CRODF: _____

Ana Paula Ribeiro do Vale Pedreira

Autora responsável pela pesquisa



Universidade de Brasília
Faculdade de Ciências da Saúde
Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/FS

PROCESSO DE ANÁLISE DE PROJETO DE PESQUISA

Registro do Projeto no CEP: **054/11**

Título do Projeto: “Avaliação do grau de conversão e da resistência de união de cimentos autocondicionantes à dentina intra-radicular”.

Pesquisadora Responsável: Ana Paula Ribeiro do Vale Pedreira

Data de Entrada: 09/05/2011

Com base na Resolução 196/96, do CNS/MS, que regulamenta a ética em pesquisa com seres humanos, o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília, após análise dos aspectos éticos e do contexto técnico-científico, resolveu **APROVAR** o projeto **054/11** com o título: “Avaliação do grau de conversão e da resistência de união de cimentos autocondicionantes à dentina intra-radicular”, analisado na 5ª reunião ordinária realizada no dia 14 de junho de 2011.

A pesquisadora responsável fica, desde já, notificada da obrigatoriedade da apresentação de um relatório semestral e relatório final sucinto e objetivo sobre o desenvolvimento do Projeto, no prazo de 1 (um) ano a contar da presente data (item VII.13 da Resolução 196/96).

Brasília, 17 de agosto de 2011.

Thiago Rocha da Cunha
Vice - coordenador do CEP-FS/UnB

