

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 25/09/2027.



**UNESP - Universidade Estadual Paulista**  
**“Júlio de Mesquita Filho”**  
**Faculdade de Odontologia de Araraquara**



**Marcela de Come Ramos**

**Efeito da aplicação de biovidro no tratamento da dentina e interação com cimentos obturadores e materiais reparadores**

**Araraquara**  
**2025**

R175e Ramos, Marcela de Come  
Efeito da aplicação de biovidro no tratamento da dentina e interação com cimentos obturadores e materiais reparadores / Marcela de Come Ramos. -- Araraquara, 2025  
81 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia, Araraquara  
Orientador: Mario Tanomaru-Filho

1. Calcarea Silicata. 2. Materiais dentários. 3. Testes mecânicos. 4. Materiais restauradores do canal radicular. I. Título.



**UNESP - Universidade Estadual Paulista**  
**“Júlio de Mesquita Filho”**  
**Faculdade de Odontologia de Araraquara**



**Marcela de Come Ramos**

**Efeito da aplicação de biovidro no tratamento da dentina e interação com cimentos obturadores e materiais reparadores**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara para obtenção do título de Doutora em Odontologia, na Área de Endodontia

**Orientador: Prof. Dr. Mario Tanomaru-Filho**

**Araraquara**  
**2025**

**Marcela de Come Ramos**

**Efeito da aplicação de biovidro no tratamento da dentina e interação com cimentos obturadores e materiais reparadores**

**Comissão julgadora**

**Defesa de Tese para obtenção do grau de Doutora em Odontologia**

Prof. Dr. Mario Tanomaru-Filho

Prof. Dr. José Maurício dos Santos Nunes Reis

Prof. Dr. Lucas da Fonseca Roberti Garcia

Profa. Dra. Naiana Viana Viola Nícoli

Araraquara, 29 de setembro de 2025.

## **DADOS CURRICULARES**

**Marcela de Come Ramos**

NASCIMENTO: 03/09/1997 – São Bernardo do Campo – São Paulo

FILIAÇÃO: Darcy Pereira Ramos

Kelly Aparecida de Come Ramos

**2015 - 2019** - Graduação em Odontologia pela Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG

**2019 - 2020** - Curso de Atualização em Endodontia pela Associação Brasileira de Odontologia – ABO/MG

**2020 - 2022** - Mestrado em Ciências Odontológicas, área de concentração em Endodontia, pela Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG

**2023 - 2025** - Especialização em Endodontia pela Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP

**2022 - 2025** - Doutorado em Odontologia, área de Endodontia, pela Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP

Dedico este trabalho aos meus pais, Kelly Aparecida de Come Ramos e Darcy Pereira Ramos, que são a base e o alicerce para que todos os meus sonhos fossem construídos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar ao Criador. Não tenho palavras que expressem Sua bondade e misericórdia em minha vida. Dia após dia, têm derramado bênçãos sem fim e sido meu amparo e maior alicerce, que nos momentos mais difíceis me tomou em Suas mãos e me fez descansar. Apesar de só poder agradecer, suplico que Ele nunca me deixe esquecer que tudo que tenho, sou e vier a ser, pertence a ELE.

Aos meus pais Kelly Aparecida de Come Ramos e Darcy Pereira Ramos, meus maiores exemplos e incentivadores nessa jornada. Este título e conquista pertencem a vocês! Muito obrigada por sempre confiarem em mim, mesmo nos momentos que a autoconfiança me faltou. Sou muito grata ao Eterno pela vida de vocês e por ter me concedido o privilégio de ser sua filha, vocês são a maior expressão do amor de Deus em minha vida. Espero um dia, conseguir retribuir todo amor e carinho destinados a mim. Eu os amo profundamente!

Foi através dos amigos e do acolhimento que recebi em Araraquara que encontrei forças para persistir na jornada. Agradeço a todos que caminharam comigo e se tornaram mais que amigos – tornaram-se família de sangue, porque foi o sangue de Cristo que nos uniu. Deixo meu especial agradecimento à Igreja Presbiteriana de Araraquara, que me presenteou com amizades inigualáveis. Partilhar esta jornada com vocês a tornou infinitamente mais leve. Menciono aqui meu agradecimento a cada amigo querido da UMP. E de modo especial, agradeço, a Beatriz Pelicce, Izabela Rosa, Ingrid Lopes, Olivia Colucci, João Paulo Diniz, Marina Pacheco, Lucas Lélis, Bianca Garcia e Guilherme Córdoba, além das famílias Zwicker, Esgarbossa, Ferreira, Garcia, Pasquantônio, Menezes, Paiva e ao companheiro que o Senhor me deu nessa reta final, Wesley Santiago.

Agradeço aos verdadeiros familiares e queridos amigos - de perto e de longe - que mesmo sem entender por completo o que se passava, marejavam os olhos em cada conquista. Deixo meu muito obrigada, aos que estiveram presentes em todos os momentos de dificuldade, apoiando e sempre compreendendo os momentos de ausência, sem nunca negar suporte, amizade e carinho em todos os momentos. Rogo a Deus para que sempre esteja presente na vida de vocês.

Aos amigos que o doutorado me trouxe: Catarina Lima, José Leandro Jampani, Larissa Pontes, Maria Laura Grotto Nogueira, Pedro Henrique Fiorin, Pedro Luís Busto Rosim e Suellen Tayene Pedrosa Pinto — companheiros de jornada, de incertezas e de descobertas — meu sincero agradecimento. A convivência, o apoio mútuo e as trocas constantes tornaram este caminho mais leve. Por cada conversa e incentivo reconheço a força do coletivo nessa conquista. Obrigada por fazerem parte desta trajetória e, especialmente, por terem sido além de colegas, verdadeiros amigos e apoiadores.

Agradeço a todos os professores que iluminaram e apoiaram, com seus ensinamentos e paciência a jornada do doutorado. Em especial, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Mario Tanomaru-Filho pelo apoio, orientação e exemplo do que ser e do que não ser. E a minha coorientadora, Profa. Dra. Juliane Maria Guerreiro-Tanomaru pelo suporte direto no desenvolvimento deste trabalho. Aproveito para mencionar também as professoras que me orientaram durante a graduação e o mestrado, Profa. Dra. Daniela Coelho de Lima e Profa. Dra. Naiana Viana Viola Nícoli, respectivamente, que foram base e alicerce para que esse sonho fosse realidade.

Agradeço também aos professores que compuseram a banca de qualificação desse trabalho: Profa. Dra. Jessie Reyes Carmona e Profa. Dra. Fernanda Ferrari Esteves Torres Carvalho, muito obrigada por cada sugestão e consideração, elas abrilhantaram ainda mais esse trabalho.

A Faculdade de Odontologia de Araraquara (Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho), Programa de Pós-Graduação em Odontologia e ao Departamento de Odontologia Restauradora, pelo crescimento profissional e pessoal. Meu reconhecimento a cada servidor, colega e paciente que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão dessa etapa.

O presente trabalho está sendo realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

“Porque dEle, e por Ele, e para Ele são todas as coisas; glória, pois, a Ele eternamente.  
Amém.”  
Paulo\*

---

\* Bíblia. Novo Testamento. Paulo. Carta aos Romanos. Capítulo 11. Versículo 36.

Ramos MC. Efeito da aplicação de biovidro no tratamento da dentina e interação com cimentos obturadores e materiais reparadores [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2025.

## RESUMO

O Laboratório de Materiais Vítreos (LaMaV - UFSCar) desenvolveu um biovidro bioativo denominado F18. Biovidros podem promover maior bioatividade e interação com cimentos biocerâmicos. **Publicação 1:** Avaliar o efeito do tratamento da dentina com soluções de Biovidro F18 (F18) na superfície dentinária e na resistência de união (RU) com cimentos obturadores. **Metodologia:** Canais radiculares de incisivos humanos foram tratados com água destilada (AD), PBS ou F18 a 2.5%, 5% e 10%, e analisados por MEV e EDS (n=6). Espécimes bovinos foram tratados com AD (controle) ou F18 5% e obturados com Bio-C Sealer (BCS) ou AH Plus Jet (AHP). A interface material/dentina foi avaliada por micro-FTIR antes e após imersão em PBS (n=3). Espécimes de dentes bovinos foram confeccionados para avaliar a RU que foi medida por testes de *push-out* e tração (n=12). O modo de falha foi classificado como adesivo, coesivo ou misto. As análises estatísticas foram realizadas por ANOVA e Tukey ( $\alpha=0,05$ ). **Resultados:** F18 5% e 10% promoveram deposição regular de material bioativo na dentina. Soluções de F18 2.5, 5 e 10% promoveram maior RU no *push-out*, com maiores valores em 5% e 10% ( $p<0,05$ ). No teste de tração, F18 5% demonstrou maior RU para ambos os cimentos, sendo AHP superior ao BCS ( $p<0,05$ ) em todas as avaliações. Quanto aos modos de falha, no *push-out*, AHP apresentou predominância de falhas coesivas, enquanto BCS mostrou predominância de falhas mistas; no teste de tração, ambos os cimentos exibiram maior frequência de falhas adesivas. **Conclusões:** O tratamento da dentina com F18 favorece a deposição de material bioativo e aumenta a RU de cimentos obturadores biocerâmicos e resinosos. **Publicação 2:** Avaliar o efeito do tratamento da dentina com solução de F18 5% na RU de materiais biocerâmicos reparadores. **Metodologia:** Discos de dentina bovina foram tratados com AD ou F18 5% e preenchidos com Bio-C Repair (BCR) ou NeoMTA 2 (NMTA2). Teste de *push-out* e tração (n=12) foram realizados, e os modos de falha (adesivo, coesivo, misto) analisados. A superfície de dentina e interface dentina/material foi avaliada por MEV, EDS e micro-FTIR antes e após imersão em PBS (n=3). Dados analisados por ANOVA e Tukey ( $\alpha=0,05$ ). **Resultados:** F18 5% aumentou a RU de ambos os materiais nos testes de *push-out* e tração ( $p<0,05$ ). BCR apresentou maiores valores que NMTA2 ( $p<0,05$ ). O *push-out* teve falha mista predominante; o teste de tração, falha adesiva. A análise por MEV e EDS demonstrou deposição regular e uniforme de material bioativo na dentina. Micro-FTIR revelou formação de apatita e carbonato intensificada após tratamento com F18 e imersão em PBS incluindo a interface material/dentina. **Conclusões:** O tratamento da dentina com F18 5% melhora a RU e favorece a bioatividade na interface material/dentina de materiais reparadores biocerâmicos, e pode favorecer o selamento dentina/material.

**Palavras-chave:** Calcareia Silicata. Materiais dentários. Testes mecânicos. Materiais restauradores do canal radicular.

Ramos MC. Effect of bioglass application on dentin treatment and interaction with filling sealers and repair materials [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2025.

## **ABSTRACT**

The Laboratory of Vitreous Materials (LaMaV - UFSCar) developed a bioactive bioglass called F18. Bioglasses can promote greater bioactivity and interaction with bioceramic sealers. **Publication 1:** To evaluate the effect of dentin treatment with Bioglass F18 (F18) solutions on the dentin surface and bond strength (BWS) with root canal sealers. **Methodology:** Human incisor root canals were treated with distilled water (DW), PBS, or 2.5%, 5%, and 10% F18 and analyzed by SEM and EDS (n=6). Bovine specimens were treated with DW (control) or 5% F18 and filled with Bio-C Sealer (BCS) or AH Plus Jet (AHP). The material/dentin interface was evaluated by micro-FTIR before and after immersion in PBS (n=3). Bovine tooth specimens were prepared to evaluate RU, which was measured by push-out and tensile tests (n=12). The failure mode was classified as adhesive, cohesive, or mixed. Statistical analyses were performed by ANOVA and Tukey ( $\alpha=0.05$ ). **Results:** F18 5% and 10% promoted regular deposition of bioactive material in dentin. F18 solutions 2.5%, 5%, and 10% promoted higher RU in the push-out test, with higher values at 5% and 10% ( $p<0.05$ ). In the tensile test, F18 5% demonstrated higher RU for both sealers, with AHP being superior to BCS ( $p<0.05$ ) in all evaluations. Regarding failure modes, in the push-out test, AHP showed a predominance of cohesive failures, while BCS showed a predominance of mixed failures; in the tensile test, both sealers exhibited a higher frequency of adhesive failures. **Conclusions:** Dentin treatment with F18 favors the deposition of bioactive material and increases the RU of bioceramic and resin sealers. **Publication 2:** To evaluate the effect of dentin treatment with a 5% F18 solution on the RU of bioceramic repair materials. **Methodology:** Bovine dentin discs were treated with AD or 5% F18 and filled with Bio-C Repair (BCR) or NeoMTA 2 (NMTA2). Push-out and tensile tests (n=12) were performed, and the failure modes (adhesive, cohesive, mixed) were analyzed. The dentin surface and dentin/material interface were evaluated by SEM, EDS, and micro-FTIR before and after immersion in PBS (n=3). Data were analyzed by ANOVA and Tukey ( $\alpha=0.05$ ). **Results:** F18 5% increased the RU of both materials in the push-out and tensile tests ( $p<0.05$ ). BCR showed higher values than NMTA2 ( $p<0.05$ ). The push-out test showed a predominant mixed failure, the tensile test, adhesive failure. SEM and EDS analysis demonstrated regular and uniform deposition of bioactive material in the dentin. Micro-FTIR revealed intensified apatite and carbonate formation after treatment with F18 and immersion in PBS, including the material/dentin interface. **Conclusions:** Dentin treatment with 5% F18 improves UR and favors bioactivity at the material/dentin interface of bioceramic repair materials and may favor dentin/material sealing.

**Keywords:** *Calcareo Silicata*. Dental materials. Mechanical tests. Root canal filling materials.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 PROPOSIÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Publicação 1 .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Publicação 2 .....</b>	<b>16</b>
<b>3 PUBLICAÇÕES .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Publicação 1 .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Publicação 2 .....</b>	<b>42</b>
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>69</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A obturação endodôntica visa o selamento do sistema de canais radiculares contribuindo para o sucesso do tratamento endodôntico<sup>1</sup>. Para obtenção de selamento efetivo da obturação endodôntica, o cimento endodôntico deve promover adequada interface com a dentina radicular<sup>2-4</sup>.

Na busca de materiais obturadores ideais com propriedades bioativas<sup>5,6</sup>, cimentos endodônticos biocerâmicos merecem destaque<sup>4-6</sup>. O cimento Mineral Trióxido Agregado (MTA), composto por silicatos di- e tri-cálcico, silicato de alumínio e ferro<sup>7-11</sup> foi desenvolvido como material reparador empregado em obturação retrógrada<sup>12,13</sup>, perfuração radicular ou de furca<sup>14,15</sup>, capeamento pulpar<sup>16</sup>, pulpotomia<sup>17</sup> e apicificação<sup>18</sup> apresentando biocompatibilidade, bioatividade e capacidade de selamento adequadas<sup>7,8,10,11,15</sup>.

Limitações observadas para o MTA nos procedimentos reparadores como alteração cromática, dificuldades de manipulação e possibilidade de metais pesados<sup>15,19,20</sup>, promoveram o desenvolvimento de novos materiais de silicatos de cálcio<sup>9,15,21-24</sup>. Também, a partir desse precursor, foram desenvolvidos cimentos obturadores biocerâmicos à base de silicato tricálcico e dicálcico<sup>8</sup> com adição de agentes radiopacificadores, aditivos e veículos<sup>8,25</sup>.

O tamanho da partícula, solubilidade, viscosidade e tensão superficial, influenciam a profundidade de penetração do cimento obturador nos túbulos dentinários<sup>26,27</sup>. Menores tamanhos de partículas favorecem maior penetrabilidade e difusão nos túbulos dentinários<sup>26</sup>. A adesão dos cimentos endodônticos biocerâmicos é associada à penetrabilidade do cimento pelos túbulos dentinários gerando uma interface caracterizada pelo processo de biomineralização<sup>5,10,21,28-30</sup>.

Cimentos biocerâmicos apresentam a capacidade de produzir hidroxiapatita promovendo ligação funcional com a dentina<sup>31,32</sup>, resultando em interface mineral<sup>33,34</sup> e promovendo selamento<sup>2,35-37</sup>. A bioatividade dos cimentos biocerâmicos proporciona uma interface com cristais de apatita, entre a dentina e o cimento obturador<sup>8,38</sup> podendo proporcionar maior adesão<sup>15,39</sup>. Essa interface pode reduzir micro infiltração, melhorar a adaptação marginal, além de induzir a remineralização<sup>8,38</sup>.

O cimento biocerâmico pronto para uso Bio-C Sealer (Angelus, Brasil) apresenta como principais componentes silicato tricálcico, silicato dicálcico,

aluminato tricálcico, óxido de cálcio, óxido de zircônio, óxido de silício, polietilenoglicol e óxido de ferro<sup>4,10,39,40</sup>. Bio-C Sealer apresenta escoamento, estabilidade dimensional e radiopacidade adequadas<sup>4,10,39</sup>. Suas propriedades como biocompatibilidade, capacidade de liberação de íons de cálcio, baixa toxicidade e pH alcalino também são descritas<sup>4,39-41</sup>. A penetrabilidade dentinária e interação entre cimento biocerâmico/dentina promovem formação dos cristais bioativos na interface com tecido dentinário<sup>26,42,43</sup>.

O cimento resinoso AH Plus Jet (Dentsply DeTrey Konstanz, Alemanha) apresenta ampla utilização clínica devido as suas propriedades físico-químicas e adesão química e mecânica que promove com as paredes do canal radicular. Suas principais propriedades incluem baixa solubilidade, radiopacidade, estabilidade dimensional e adesão com a dentina<sup>44</sup>. Entretanto, quando comparado com biocerâmicos, induz maior resposta inflamatória<sup>39</sup> e menor viabilidade celular<sup>45</sup>. AH Plus Jet apresenta-se comercialmente na forma de duas pastas e seu mecanismo de adesão resulta da coesão entre as moléculas do cimento com a dentina e de sua capacidade de penetração no tecido dentinário<sup>46</sup>. Menor solubilidade e porosidade para AH Plus Jet foram demonstrados quando comparado a biocerâmicos<sup>47</sup>.

Materiais biocerâmicos são empregados como materiais reparadores, desde o desenvolvimento do MTA<sup>9</sup>, em função de suas propriedades como biocompatibilidade, estabilidade dimensional e bioatividade<sup>48</sup>. Apesar de composições semelhantes, materiais reparadores e obturadores apresentam características diferentes em relação às propriedades relacionadas a sua aplicabilidade clínica como escoamento, consistência e inserção<sup>49-54</sup>.

Visando melhorar limitações observadas para o MTA<sup>54-56</sup>, novos materiais reparadores biocerâmicos foram desenvolvidos como: Bio-C Repair e o Neo MTA<sup>29,21,48</sup>. Bio-C Repair (BCR) (Angelus, Londrina, PR, Brasil) é um material biocerâmico pronto para uso composto por silicatos de cálcio, aluminato de cálcio, óxido de cálcio, óxido de zircônio, óxido de ferro, dióxido de silício e um agente dispersante. BCR promove biomineralização, além de demonstrar alta viabilidade, adesão e migração celular<sup>57,58</sup>. BCR apresenta capacidade superior de preenchimento e baixa variação volumétrica, quando comparado ao MTA Repair HP (Angelus, Londrina, PR, Brasil) em análise por meio de microtomografia (micro-CT)<sup>59</sup>.

Neo MTA 2 (NMTA2) (Avalon, Houston, TX, EUA) é um material mais recente que pode ser empregado como material reparador ou cimento obturador endodôntico, dependendo da proporção pó-gel usada na manipulação. Esse material é considerado uma versão modificada do Neo MTA Plus (Avalon, EUA) que não causa descoloração da estrutura dentária<sup>39,40</sup>.

Os materiais reparadores além de apresentar biocompatibilidade, devem demonstrar radiopacidade, fácil manipulação e inserção, ser dimensionalmente estáveis, e proporcionar selamento<sup>50,52-55</sup>. A interface material reparador biocerâmico-dentina pode promover melhor resistência ao deslocamento<sup>60</sup> em função do contato do material com o fluido tecidual e suas propriedades bioativas<sup>54,61,62</sup>. Esta interface pode ser influenciada pelo tratamento da dentina proporcionando condições convenientes para a formação adequada da interface material/dentina<sup>63,64</sup>.

Para que a penetrabilidade dos cimentos obturadores e reparadores seja adequada é necessário considerar fatores relacionados a estrutura dental<sup>65,66</sup> bem como os fatores relacionados a superfície dentinária, por exemplo, a remoção da *smear layer*<sup>65-67</sup>. Além disso, as propriedades dos materiais biocerâmicos podem ser influenciadas por protocolos de tratamento da dentina após preparo do canal radicular antes da obturação ou, previamente a procedimentos reparadores como a obturação retrógrada<sup>67</sup>.

A bioatividade desses materiais permite que, em contato com a dentina haja a precipitação de uma camada interfacial de hidroxiapatita carbonatada<sup>68</sup>. Dessa forma, substâncias bioativas aplicadas na dentina, teriam a possibilidade de reagir com os íons cálcio dos cimentos, formando apatita carbonatada ou pseudo-apatita, fortificando a interface de bioatividade da obturação<sup>68,69</sup>.

Nesse cenário, substâncias bioativas podem promover melhor interface entre o material obturador e a superfície dentinária<sup>69,70</sup>. Biovidros se destacam, por serem um dos materiais mais bioativos disponíveis, solúvel em condições biológicas e que fornecem íons biologicamente ativos ao meio<sup>70</sup>. O biovidro é geralmente composto por SiO<sub>2</sub>-CaO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e Na<sub>2</sub>O (Dióxido de silício, Óxido de Cálcio, Pentóxido de fósforo e Óxido de sódio) e vêm se destacando no cenário médico e odontológico devido ao seu grande potencial de aplicação<sup>69,71</sup>.

Os biovidros apresentam a capacidade de formar precipitados de fosfato de cálcio quando em contato com líquidos fisiológicos, levando a formação de ligações

químicas que podem acontecer com tecidos calcificados ou não, incluindo ossos e dentes. Ainda, o menor tamanho das partículas promove selamento adequado dos túbulos dentinários como a promoção da remineralização e inibição da desmineralização da dentina, aumentando em último estágio, o potencial adesivo dos cimentos biocerâmicos<sup>72</sup>, uma vez que o potencial bioativo do cimento endodôntico biocerâmico, ocorre pelo seu contato com a dentina promovendo precipitação de uma camada interfacial de hidroxiapatita carbonatada<sup>70</sup>.

Desta forma, a avaliação do efeito do tratamento da dentina com substâncias potencialmente bioativas é pertinente. A aplicação prévia do biovidro na superfície dentinária auxiliaria na liberação de íons precursores de hidroxiapatita aumentando a bioatividade do material e sua capacidade de adesão<sup>73</sup>. A capacidade de interação direta, entre o tecido humano e o biovidro, sem a formação de uma camada intermediária entre eles, foi demonstrada no desenvolvimento desse material<sup>74</sup>. A biocompatibilidade do biovidro favorece a sua aplicação clínica<sup>75</sup>.

Composição de biovidro, denominada F18 (BR 10 2020 0176978), que apresenta alta bioatividade foi desenvolvida pelo Laboratório de Materiais Vítreos (LaMaV – UFSCar) e pode ser usada em superfícies para melhorar a adesividade. A alta bioatividade torna o biovidro F18 um biomaterial com potencial para várias aplicações clínicas<sup>76</sup>. Partículas de vidro bioativo F18 em água destilada promovem uma suspensão que pode ser aplicada em dentina, proporcionando fechamento de túbulos dentinários com partículas minerais<sup>76-78</sup>. Desta forma, protocolos de tratamento da dentina com biovidro F18, previamente, à obturação com cimentos biocerâmicos podem aumentar a interação do cimento biocerâmico com a dentina e promover maior selamento.

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) permite a análise de características microestruturais de amostras sólidas em análise tridimensional com elevada resolução<sup>79</sup> da morfologia estrutural<sup>80,81</sup>. Essa metodologia é usada para avaliar a superfície dentinária e a interação com materiais obturadores<sup>82,83</sup>. As análises qualitativas permitem verificar penetrabilidade de materiais nos túbulos dentinários e alterações na superfície após diferentes tratamentos<sup>83</sup>. A análise por espectroscopia de dispersão de energia de raios X (EDS) é amplamente utilizada para análise da composição química da superfície dentinária<sup>83-85</sup>. A técnica permite a identificação e quantificação de elementos como cálcio (Ca), fósforo (P), oxigênio

(O) e carbono (C), fornecendo informações sobre a composição mineral da dentina<sup>84,85</sup>.

Outra metodologia importante é a espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier em nível microscópico (micro-FTIR) empregada para caracterização química da superfície dentinária, permitindo a análise simultânea das fases mineral (apatita) e orgânica (colágeno) com alta especificidade molecular<sup>86-88</sup>. A técnica é capaz de detectar alterações na estrutura da dentina por meio da identificação de bandas vibracionais características, como as de fosfato ( $\sim 1030\text{ cm}^{-1}$ ), carbonato ( $\sim 870\text{ cm}^{-1}$ ) e das amidas I ( $\sim 1650\text{ cm}^{-1}$ ) e III ( $\sim 1240\text{ cm}^{-1}$ ), relacionadas ao colágeno<sup>86,89</sup>.

Considerando a influência da interface material/dentina no selamento dos cimentos obturadores, o teste de *push-out* é amplamente utilizado para estudar interações entre cimentos e dentina a partir da avaliação da resistência de união entre o cimento e a parede dentinária do canal radicular<sup>10,90</sup>. Enquanto o teste de tração, apresenta poucos relatos na literatura endodôntica, mas mensura mais forças axiais, que podem ser mais facilmente detectadas<sup>91</sup>. Como uma avaliação complementar, a resistência de união entre os materiais dentários e a dentina pode evidenciar sua efetividade de adesão e potencial para evitar a microinfiltração<sup>92</sup>.

O presente estudo apresenta caráter inédito ao investigar o tratamento da superfície dentinária com biovidro F18 em diferentes concentrações, explorando seu potencial bioativo na promoção de interação química com a dentina e efeito na adesão com materiais endodônticos obturadores e reparadores. Além disso, o trabalho se destaca pela proposição de uma nova metodologia de teste de tração, adaptada avaliar desafios mecânicos inerentes à avaliação da resistência de união entre a dentina e os materiais endodônticos.

## 5 CONCLUSÃO

Com base nos experimentos realizados, pode-se concluir:

O tratamento da superfície dentinária com biovidro F18 promove deposição de material bioativo na superfície além de elevar a resistência de união dos cimentos endodônticos Bio-C Sealer e AH Plus;

O tratamento da superfície dentinária com biovidro F18 5% promove deposição de material bioativo na superfície e aumenta a resistência de união entre materiais biocerâmicos reparadores e o tecido dentinário.

## REFERÊNCIAS\*

1. Peng L, Ye L, Tan H, Zhou X. Outcome of root canal obturation by warm gutta-percha versus cold lateral condensation: a meta-analysis. *J Endod.* 2007; 33(2): 106–9.
2. Rosa RA, Santini MF, Heiden K, Só BB, Kuga MC, Pereira JR et al. SEM evaluation of the interface between filling and root-end filling materials. *Scanning.* 2014; 36(2): 252–7.
3. Asawaworarit W, Pinyosopon T, Kijsamanmith K. Comparison of apical sealing ability of bioceramic sealer and epoxy resin-based sealer using the fluid filtration technique and scanning electron microscopy. *J Dent Sci.* 2020; 15(2): 186–92.
4. Zordan-Bronzel CL, Esteves Torres FF, Tanomaru-Filho M, Chávez-Andrade GM, Bosso-Martelo R, Guerreiro-Tanomaru JM. Evaluation of physicochemical properties of a new calcium silicate-based sealer, Bio-C Sealer. *J Endod.* 2019; 45(10): 1248–52.
5. Jafari F, Jafari S, Etesamnia P. Genotoxicity, bioactivity and clinical properties of calcium silicate based sealers: a literature review. *Iran Endod J.* 2017; 12(4): 407–13.
6. Vitti RP, Prati C, Sinhoreti MAC, Zanchi CH, Souza E Silva MG, Ogliari FA et al. Chemical-physical properties of experimental root canal sealers based on butyl ethylene glycol disalicylate and MTA. *Dent Mater.* 2013; 29(12): 1287–94.
7. Ha JH, Kim HC, Kim YK, Kwon TY. An evaluation of wetting and adhesion of three bioceramic root canal sealers to intraradicular human dentin. *Materials (Basel).* 2018; 11(8): 1286.
8. Al-Haddad A, Che Ab Aziz ZA. Bioceramic-based root canal sealers: a review. *Int J Biomater.* 2016; 2016: 9753210.
9. Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: biological perspectives and clinical applications. *Dent Mater.* 2015; 31(4): 351–70.
10. Agarwal S, Raghu R, Shetty A, Gautham PM, Souparnika DP. An in vitro comparative evaluation of the effect of three endodontic chelating agents (17% ethylenediamine tetraacetic acid, 1% peracetic acid, 0.2% chitosan) on the push out bond strength of gutta percha with a new bioceramic sealer (BioRoot RCS). *J Conserv Dent.* 2019; 22(5): 475–8.
11. Hoshino RA, Delfino MM, da Silva GF, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M, Sasso-Cerri E et al. Biocompatibility and bioactive potential of the NeoMTA Plus endodontic bioceramic-based sealer. *Restor Dent Endod.* 2021; 46(1): e4.
12. Silva EJNL, Canabarro A, Andrade MRT, Cavalcante DM, Von Stetten O, Fidalgo TK da S et al. Dislodgment resistance of bioceramic and epoxy sealers: a systematic review and meta-analysis. *J Evid Based Dent Pract.* 2019; 19(3): 221–35.
13. Retana-Lobo C, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, Benavides-García M, Hernández-Meza E, Reyes-Carmona J. Push-out bond strength, characterization, and ion release of premixed and powder-liquid bioceramic sealers with or without gutta-percha. *Scanning.* 2021; 2021: 6617930.
14. Christiansen R, Kirkevang LL, Hørsted-Bindslev P, Wenzel A. Randomized clinical trial of root-end resection followed by root-end filling with mineral trioxide aggregate or smoothing of the orthograde gutta-percha root filling--1-year follow-up. *Int Endod J.* 2009; 42(2): 105–14.
15. Saunders WP. A prospective clinical study of periradicular surgery using mineral trioxide aggregate as a root-end filling. *J Endod.* 2008; 34(6): 660–5.
16. Zafar K, Jamal S, Ghafoor R. Bio-active cements-Mineral Trioxide Aggregate based calcium silicate materials: a narrative review. *J Pak Med Assoc.* 2020; 70(3): 497–504.
17. Mente J, Hage N, Pfefferle T, Koch MJ, Geletneky B, Dreyhaupt J et al. Treatment outcome of mineral trioxide aggregate: repair of root perforations. *J Endod.* 2010; 36(2): 208–13.

---

\* De acordo com o Guia de Trabalhos Acadêmicos da FOAr, adaptado das Normas Vancouver. Disponível no site da Biblioteca: <http://www.foar.unesp.br/Home/Biblioteca/guia-de-normalizacao-atualizado.pdf>

18. Mente J, Geletneky B, Ohle M, Koch MJ, Friedrich Ding PG, Wolff D et al. Mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: an analysis of the clinical treatment outcome. *J Endod.* 2010; 36(5): 806–13.
19. Erdem AP, Guven Y, Balli B, Ilhan B, Sepet E, Ulukapi I et al. Success rates of mineral trioxide aggregate, ferric sulfate, and formocresol pulpotomies: a 24-month study. *Pediatr Dent.* 2011; 33(2): 165–70.
20. Chala S, Abouqal R, Rida S. Apexification of immature teeth with calcium hydroxide or mineral trioxide aggregate: systematic review and meta-analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011; 112(4): e36-42.
21. de Oliveira NG, de Souza Araújo PR, da Silveira MT, Sobral APV, Carvalho M de V. Comparison of the biocompatibility of calcium silicate-based materials to mineral trioxide aggregate: Systematic review. *Eur J Dent.* 2018; 12(2): 317–26.
22. Chang SW, Shon WJ, Lee W, Kum KY, Baek SH, Bae KS. Analysis of heavy metal contents in gray and white MTA and 2 kinds of Portland cement: a preliminary study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010; 109(4): 642–6.
23. Torabinejad M, Hong CU, Lee SJ, Monsef M, Pitt Ford TR. Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *J Endod.* 1995; 21(12): 603–8.
24. Kogan P, He J, Glickman GN, Watanabe I. The effects of various additives on setting properties of MTA. *J Endod.* 2006; 32(6): 569–72.
25. Camilleri J, Atmeh A, Li X, Meschi N. Present status and future directions: hydraulic materials for endodontic use. *Int Endod J.* 2022; 55: 710–77.
26. Kharouf N, Arntz Y, Eid A, Zghal J, Sauro S, Haikel Y, et al. Physicochemical and antibacterial properties of novel, premixed calcium silicate-based sealer compared to powder-liquid bioceramic sealer. *J Clin Med.* 2020; 25(9): e10.
27. Nunes VH, Silva RG, Alfredo E, Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YTC. Adhesion of Epiphany and AH Plus sealers to human root dentin treated with different solutions. *Braz Dent J.* 2008; 19(1): 46–50.
28. Kooanantkul C, Shelton RM, Camilleri J. Comparison of obturation quality in natural and replica teeth root-filled using different sealers and techniques. *Clin Oral Investig.* 2023; 27(5): 2407–17.
29. Mamootil K, Messer HH. Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and in vivo. *Int Endod J.* 2007; 40(11): 873–81.
30. Bueno CRE, Valentim D, Marques VAS, Gomes-Filho JE, Cintra LTA, Jacinto RC, et al. Biocompatibility and biomineralization assessment of bioceramic-, epoxy-, and calcium hydroxide-based sealers. *Braz Oral Res.* 2016; 14(1): e30(1).
31. Kebudi Benezra M, Schembri Wismayer P, Camilleri J. Interfacial characteristics and cytocompatibility of hydraulic sealer cements. *J Endod.* 2018; 44(6): 1007–17.
32. Zhang W, Li Z, Peng B. Assessment of a new root canal sealer's apical sealing ability. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009; 107(6): e79-82.
33. Holland R, de Souza V. Ability of a new calcium hydroxide root canal filling material to induce hard tissue formation. *J Endod.* 1985; 11(12): 535–43.
34. Gomes-Filho JE, Watanabe S, Lodi CS, Cintra LTA, Nery MJ, Filho JAO, et al. Rat tissue reaction to MTA FILLAPEX®. *Dent Traumatol.* 2012; 28(6): 452–6.
35. Han L, Okiji T. Uptake of calcium and silicon released from calcium silicate-based endodontic materials into root canal dentine. *Int Endod J.* 2011; 44(12): 1081–7.
36. Atmeh AR, Chong EZ, Richard G, Festy F, Watson TF. Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates. *J Dent Res.* 2012; 91(5): 454–9.
37. Kaul S, Kumar A, Badiyani BK, Sukhtankar L, Madhumitha M, Kumar A. Comparison of sealing ability of bioceramic sealer, AH Plus, and GuttaFlow in conservatively prepared curved root canals obturated with single-cone technique: an in vitro study. *J Pharm Bioallied Sci.* 2021; 13(1): S857–60.

38. Yanpiset K, Banomyong D, Chotvorrarak K, Srisatjaluk RL. Bacterial leakage and micro-computed tomography evaluation in round-shaped canals obturated with bioceramic cone and sealer using matched single cone technique. *Restor Dent Endod*. 2018; 43(3): e30.
39. Raghavendra SS, Jadhav GR, Gathani KM, Kotadia P. Bioceramics in endodontics - a review. *J Istanbul Univ Fac Dent*. 2017; 51(3): 128–37.
40. Cintra LTA, Benetti F, de Azevedo Queiroz ÍO, de Araújo Lopes JM, Penha de Oliveira SH, Sivieri Araújo G, et al. Cytotoxicity, biocompatibility, and biomineralization of the new high-plasticity MTA material. *J Endod*. 2017; 43(5): 774–8.
41. Alves Silva EC, Tanomaru-Filho M, da Silva GF, Delfino MM, Cerri PS, Guerreiro-Tanomaru JM. Biocompatibility and bioactive potential of new calcium silicate-based endodontic sealers: Bio-C Sealer and Sealer Plus BC. *J Endod*. 2020; 46(10): 1470–7.
42. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M. Physical properties of 5 root canal sealers. *J Endod*. 2013; 39(10): 1281–6.
43. Silva GF, Guerreiro-Tanomaru JM, da Fonseca TS, Bernardi MIB, Sasso-Cerri E, Tanomaru-Filho M, et al. Zirconium oxide and niobium oxide used as radiopacifiers in a calcium silicate-based material stimulate fibroblast proliferation and collagen formation. *Int Endod J*. 2017; 1(50): e95–108.
44. Kim JR, Nosrat A, Fouad AF. Interfacial characteristics of Biodentine and MTA with dentine in simulated body fluid. *J Dent*. 2015; 43(2): 241–7.
45. McMichael GE, Primus CM, Opperman LA. Dentinal tubule penetration of tricalcium silicate sealers. *J Endod*. 2016; 42(4): 632–6.
46. Grazziotin-Soares R, Dourado LG, Gonçalves BLL, Ardenghi DM, Ferreira MC, Bauer J, et al. Dentin microhardness and sealer bond strength to root dentin are affected by using bioactive glasses as intracanal medication. *Materials*. 2020; 13(3): e721.
47. Giacomino CM, Wealleans JA, Kuhn N, Diogenes A. Comparative biocompatibility and osteogenic potential of two bioceramic sealers. *J Endod*. 2019; 45(1): 51–6.
48. Pawar SS, Pujar MA, Makandar SD. Evaluation of the apical sealing ability of bioceramic sealer, AH plus & epiphany: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2014; 17(6): 579–82.
49. Bozeman TB, Lemon RR, Eleazer PD. Elemental analysis of crystal precipitate from gray and white MTA. *J Endod*. 2006; 32(5): 425–8.
50. Abusrewil SM, McLean W, Scott JA. The use of bioceramics as root-end filling materials in periradicular surgery: A literature review. *Saudi Dent J*. 2018; 30(4): 273–82.
51. Tang JJ, Shen ZS, Qin W, Lin Z. A comparison of the sealing abilities between biodentine and mta as root-end filling materials and their effects on bone healing in dogs after periradicular surgery. *J Appl Oral Sci* 2019; 27: e 20180693.
52. Džanković A, Hadžiabdić N, Korać S, Tahmišćija I, Konjhodžić A, Hasić-Branković L. Sealing ability of Mineral Trioxide Aggregate, Biodentine and Glass Ionomer as root-end materials: a question of choice. *Acta Med Acad*. 2020; 49(3): 232–9.
53. Singh FJ, Ahuja L, Kakkar G, Kakkar A, Garg A, Mahajan A. An in vitro comparative evaluation of the sealing ability of five different root-end filling materials under confocal laser microscopy. *Contemp Clin Dent*. 2020; 11(1): 51–4.
54. Kadić S, Baraba A, Miletić I, Ionescu A, Brambilla E, Ivanišević Malčić A, et al. Push-out bond strength of three different calcium silicate-based root-end filling materials after ultrasonic retrograde cavity preparation. *Clin Oral Investig*. 2018; 22(3): 1559–65.
55. Akcay H, Arslan H, Akcay M, Mese M, Sahin NN. Evaluation of the bond strength of root-end placed mineral trioxide aggregate and Biodentine in the absence/presence of blood contamination. *Eur J Dent*. 2016; 10(3): 370–5.
56. Collado-González M, López-García S, García-Bernal D, Oñate-Sánchez RE, Tomás-Catalá CJ, Moraleda JM, et al. Biological effects of acid-eroded MTA Repair HP and ProRoot MTA on human periodontal ligament stem cells. *Clin Oral Investig*. 2019; 23(10): 3915–24.

57. Sultana N, Singh M, Nawal RR, Chaudhry S, Yadav S, Mohanty S, et al. Evaluation of biocompatibility and osteogenic potential of tricalcium silicate-based cements using human bone marrow-derived mesenchymal stem cells. *J Endod.* 2018; 44(3): 446–51.
58. Toia CC, Teixeira FB, Cucco C, Valera MC, Cavalcanti BN. Filling ability of three bioceramic root-end filling materials: A micro-computed tomography analysis. *Aust Endod J.* 2020; 46(3): 424–31.
59. Alsubait SA, Al Ajlan R, Mitwalli H, Aburaisi N, Mahmood A, Muthurangan M, et al. Cytotoxicity of different concentrations of three root canal sealers on human mesenchymal stem cells. *Biomolecules.* 2018; 8(3): e68.
60. Mandava P, Bolla N, Thumu J, Vemuri S, Chukka S. Microleakage evaluation around retrograde filling materials prepared using conventional and ultrasonic techniques. *J Clin Diagn Res.* 2015; 9(2):e43-6.
61. Silva EJNL, Carvalho NK, Zanon M, Senna PM, De-Deus G, Zuolo ML, et al. Push-out bond strength of MTA HP, a new high-plasticity calcium silicate-based cement. *Braz Oral Res.* 2016; 30(1): 1–5.
62. Delfino MM, de Abreu Jampani JL, Lopes CS, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M, Sasso-Cerri E, et al. Comparison of Bio-C Pulpo and MTA Repair HP with White MTA: effect on liver parameters and evaluation of biocompatibility and bioactivity in rats. *Int Endod J.* 2021; 54(9): 1597–613.
63. Tanomaru-Filho M, Torres FFE, Chávez-Andrade GM, de Almeida M, Navarro LG, Steier L, et al. Physicochemical Properties and Volumetric Change of Silicone/Bioactive Glass and Calcium Silicate-based Endodontic Sealers. *J Endod.* 2017; 43(12): 2097–101.
64. Jiménez-Sánchez M del C, Segura-Egea JJ, Díaz-Cuenca A. MTA HP Repair stimulates in vitro an homogeneous calcium phosphate phase coating deposition. *J Clin Exp Dent.* 2019; 11(4): e322–6.
65. Siboni F, Taddei P, Zamparini F, Prati C, Gandolfi MG. Properties of BioRoot RCS, a tricalcium silicate endodontic sealer modified with povidone and polycarboxylate. *Int Endod J.* 2017; 50(2) :e120–36.
66. Torres FFE, Pinto JC, Figueira GO, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M. A micro-computed tomographic study using a novel test model to assess the filling ability and volumetric changes of bioceramic root repair materials. *Restor Dent Endod.* 2021; 46(1): e2.
67. Martinho JP, França S, Paulo S, Paula AB, Coelho AS, Abrantes AM, et al. Effect of different irrigation solutions on the diffusion of MTA cement into the root canal dentin. *Materials (Basel).* 2020; 13(23): e5472.
68. Caceres C, Larrain MR, Monsalve M, Peña Bengoa F. Dentinal Tubule Penetration and Adaptation of Bio-C Sealer and AH-Plus: A Comparative SEM Evaluation. *Eur Endod J.* 2021; 6(2): 216–20.
69. Ateş AA, Arıcan B, Çiftçioğlu E, Küçükay ES. Influence of different irrigation regimens on the dentinal tubule penetration of a bioceramic-based root canal sealer: a confocal analysis study. *Lasers Med Sci.* 2021; 36(8): 1771–7.
70. Meschi N, Li X, Van Gorp G, Camilleri J, Van Meerbeek B, Lambrechts P. Bioactivity potential of Portland cement in regenerative endodontic procedures: From clinic to lab. *Dent Mater.* 2019; 35(9): 1342–50.
71. Govind Shashirekha, Amit Jena, Satyajit Mohapatra. Nanotechnology in dentistry: clinical applications, benefits, and hazards. *Compendium of continuing education in dentistry.* 2017; 38(5): 1–4.
72. Biočanin V, Antonijević Đ, Poštić S, Ilić D, Vuković Z, Milić M, et al. Marginal gaps between 2 calcium silicate and glass ionomer cements and apical root dentin. *J Endod.* 2018; 44(5) :816–21.
73. Vale AC, Pereira PR, Barbosa AM, Torrado E, Alves NM. Optimization of silver-containing bioglass nanoparticles envisaging biomedical applications. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2019; 94: 161–8.
74. Reis B de O, Prakki A, Stavroullakis AT, Souza MT, Siqueira RL, Zantotto ED, et al. Analysis of permeability and biological properties of dentin treated with experimental bioactive glasses. *J Dent.* 2021; 111: e103719.
75. Cardoso OS, Meier MM, Carvalho EM, Ferreira PVC, Gavini G, Zago PMW, et al. Synthesis and characterization of experimental endodontic sealers containing bioactive glasses particles of NbG or 45S5. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2022; 125: e104971.
76. Hench LL. INTRODUCTION TO BIOCERAMICS. Imperial College Press; 2013. 1–620 p.

77. Mena-Álvarez J, Rico-Romano C, Gutiérrez-Ortega C, Arias-Sanz P, Castro-Urda J. A comparative study of biocompatibility in rat connective tissue of a new mineral trioxide compound (Theracal) versus MTA and a bioactive G3 glass. *J Clin Med*. 2021; 10(12): e2536.
78. Souza MT, Campanini LA, Chinaglia CR, Peitl O, Zanotto ED, Souza CWO. Broad-spectrum bactericidal activity of a new bioactive grafting material (F18) against clinically important bacterial strains. *Int J Antimicrob Agents*. 2017; 50(6): 730–3.
79. Souza MT, Rennó ACM, Peitl O, Zanotto ED. New highly bioactive crystallization-resistant glass for tissue engineering applications. *Translational Materials Research*. 2017; 4(1): e014002.
80. Crovace MC, Souza MT, Chinaglia CR, Peitl O, Zanotto ED. Biosilicate® - A multipurpose, highly bioactive glass-ceramic. *in vitro*, *in vivo* and clinical trials. *J Non Cryst Solids*. 2016; 432: 90–110.
81. Goldstein JI. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis: A Text for Biologists, Materials Scientists, and Geologists*. 2nd ed. Springer; 1981. 1–840 p.
82. Yaduka P, Kataki R, Roy D, Das L, Goswami S. Effects of radiation therapy on the dislocation resistance of root canal sealers applied to dentin and the sealer-dentin interface: a pilot study. *Restor Dent Endod*. 2021; 46(2): e22.
83. Burke FJT, Hussain A, Nolan L, Fleming GJP. Methods used in dentine bonding tests: an analysis of 102 investigations on bond strength. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2008; 16(4): 158–65.
84. Wang R, Zhao D, Wang Y. Characterization of elemental distribution across human dentin-enamel junction by scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectroscopy. *Microsc Res Tech*. 2021; 84(5): 881–90.
85. Marta MM, Chivu OR, Marian D, Enache IC, Veja (Ilyes) I, Pitic (Cot) DE, et al. Elemental composition and dentin bioactivity at the interface with AH Plus Bioceramic sealer: an energy-dispersive x-ray spectroscopy study. *Applied Sciences*. 2024; 14(24): e11867.
86. Seredin P, Goloshchapov D, Kashkarov V, Khydyakov Y, Nesterov D, Ippolitov I, et al. Development of a hybrid biomimetic enamel-biocomposite interface and a study of its molecular features using synchrotron submicron ATR-FTIR microspectroscopy and multivariate analysis techniques. *Int J Mol Sci*. 2022; 23(19): e11699.
87. Padmakumar I, Hinduja D, Mujeeb A, Kachenahalli Narasimhaiah R, Kumar Saraswathi A, Mirza MB, et al. Evaluation of effects of various irrigating solutions on chemical structure of root canal dentin using FTIR, SEM, and EDS: An In Vitro Study. *J Funct Biomater*. 2022; 13(4): e197.
88. Ramirez I, Alves dos Santos GN, Castro GPA de, Costa Guedes DF, Sousa-Neto MD, Ramos AP, et al. How can calcium silicate-based sealers impact the mineral phase of root dentin after the use of intracanal medications? A chemical and spectroscopic analysis. *Int J Adhes Adhes*. 2025; 140: e103991.
89. Ramírez-Bommer C, Gulabivala K, Ng YL, Young A. Estimated depth of apatite and collagen degradation in human dentine by sequential exposure to sodium hypochlorite and EDTA: a quantitative FTIR study. *Int Endod J*. 2018; 51(4): 469–78.
90. Lucas C de PTP, Viapiana R, Bosso-Martelo R, Guerreiro-Tanomaru JM, Camilleri J, Tanomaru-Filho M. Physicochemical properties and dentin bond strength of a tricalcium silicate-based retrograde material. *Braz Dent J*. 2017; 28(1): 51–6.
91. Camilleri J, Atmeh A, Li X, Meschi N. Present status and future directions: Hydraulic materials for endodontic use. *Int Endod J*. 2022; 55(3): 710–77.
92. Huffman BP, Mai S, Pinna L, Weller RN, Primus CM, Gutmann JL, et al. Dislocation resistance of ProRoot Endo Sealer, a calcium silicate-based root canal sealer, from radicular dentine. *Int Endod J*. 2009; 42(1): 34–46.
93. Pane ES, Palamara JEA, Messer HH. Critical evaluation of the push-out test for root canal filling materials. *J Endod*. 2013; 39(5): 669–73.
94. Gandolfi MG, Parrilli AP, Fini M, Prati C, Dummer PMH. 3D micro-CT analysis of the interface voids associated with Thermafil root fillings used with AH Plus or a flowable MTA sealer. *Int Endod J*. 2013; 46(3): 253–63.

95. Ricucci D, Lin LM, Spångberg LSW. Wound healing of apical tissues after root canal therapy: a long-term clinical, radiographic, and histopathologic observation study. *Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol, Oral Radiol.* 2009; 108(4): 609–21.
96. Souza AF, Souza MT, Damasceno JE, Ferreira PVC, Alves de Cerqueira G, Baggio Aguiar FH, et al. Effects of the incorporation of bioactive particles on physical properties, bioactivity and penetration of resin enamel infiltrant. *Clin Cosmet Investig Dent.* 2023; 15: 31–43.
97. Forsback AP, Areva S, Salonen JI. Mineralization of dentin induced by treatment with bioactive glass S53P4 in vitro. *Acta Odontol Scand.* 2004; 62(1): 14–20.
98. Tirapelli C, Panzeri H, Soares RG, Peitl O, Zanotto ED. A novel bioactive glass-ceramic for treating dentin hypersensitivity. *Braz Oral Res.* 2010; 24(4): 381-7.
99. Renno ACM, Bossini PS, Crovace MC, Rodrigues ACM, Zanotto ED, Parizotto NA. Characterization and in vivo biological performance of biosilicate. *Biomed Res Int.* 2013; :e141427.
100. Sarkar NK, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of Mineral Trioxide Aggregate. *J. Endod.* 2005; 31(2): 97-100.
101. Reyes-Carmona JF, Felipe MS, Felipe WT. Biomineralization ability and interaction of mineral trioxide aggregate and white portland cement with dentin in a phosphate-containing fluid. *J Endod.* 2009; 35(5): 731–6.
102. Reyes-Carmona JF, Felipe MS, Felipe WT. the biomineralization ability of Mineral Trioxide Aggregate and Portland cement on dentin enhances the push-out strength. *J Endod.* 2010; 36(2): 286–91.