

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 28/07/2027.



UNESP - Universidade Estadual Paulista

“Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Odontologia de Araraquara



José Leandro de Abreu Jampani

**Efeito do tratamento da guta-percha com biosilicato e sua interação com cimentos
endodônticos**

Araraquara

2025



UNESP - Universidade Estadual Paulista

“Júlio de Mesquita Filho”

Faculdade de Odontologia de Araraquara



José Leandro de Abreu Jampani

Efeito do tratamento da guta-percha com biosilicato e sua interação com cimentos endodônticos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia – Área de Endodontia, da Faculdade de Odontologia de Araraquara, da Universidade Estadual Paulista – UNESP, para obtenção do título de mestre em Odontologia na área de Endodontia.

Orientador: Prof. Dr. Mario Tanomaru Filho

Araraquara

2025

J32e

Jampani, José Leandro de Abreu

Efeito do tratamento da guta-percha com biosilicato e sua interação com cimentos endodônticos Efeito do tratamento da guta-percha com biosilicato e sua interação com cimentos endodônticos / José Leandro de Abreu Jampani. -- Araraquara, 2025

70 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia, Araraquara

Orientador: Profº Drº Mario Tanomaru Filho

1. Calcarea silicata. 2. Guta-percha. 3. materiais biocompatíveis. 4. materiais dentários. 5. Materiais restauradores do canal radicular. I. Título.

José Leandro de Abreu Jampani

**Efeito do tratamento da guta-percha com biosilicato e sua interação com cimentos
endodônticos**

Comissão julgadora

Exame de defesa para obtenção do grau de mestre em Odontologia

Presidente e orientador: Prof. Dr. Mario Tanomaru-Filho

2º Examinador: Prof. Dr. José Maurício dos Santos Nunes Reis

3º Examinador: Profª Drª Marina Trevelin Souza

Araraquara, 28 de julho de 2025.

DADOS CURRICULARES

José Leandro de Abreu Jampani

NASCIMENTO: 14/07/1999 – Novo Horizonte – São Paulo

FILIAÇÃO: Leandro Aparecido Jampani

Luciana Aparecida de Abreu Jampani

2018 - 2023- Graduação em Odontologia pela Faculdade de Odontologia de Araraquara - Universidade Estadual Paulista – FOAr UNESP

2023 - 2025 – Mestrado em Odontologia, área de Endodontia, pela Faculdade de Odontologia de Araraquara - Universidade Estadual Paulista – FOAr UNESP

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais **Leandro Aparecido Jampani** e **Luciana Aparecida de Abreu Jampani**, os quais eu amo e foram fundamentais para minha formação. Agradeço por sempre acreditarem e confiarem em mim, por todo apoio, dedicação e esforço que fizeram para que eu pudesse ter as melhores condições possíveis para concluir meus estudos.

Ao meu irmão **João Otávio de Abreu Jampani**, a minha namorada **Amanda Aguilar** e aos amigos que eu tive o prazer de conhecer durante esse período, que tornaram - se irmãos de vida. A eles sou grato por sempre estarem ao meu lado, por todo companheirismo, conselhos e ensinamentos.

Ao meu orientador **Prof. Dr. Mario Tanomaru Filho**, a quem tenho muita admiração e sou grato por cada ensinamento compartilhado e por todo aprendizado. Agradeço também aos alunos e colegas da pós-graduação, especialmente ao **Pedro Luís Busto Rosim**, **Vitor Dallacqua Martinelli** e a **Marcela Cosme Ramos**, que me auxiliaram no desenvolvimento desse projeto.

À Faculdade de Odontologia de Araraquara, ao Departamento de Odontologia Restauradora, ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia e ao laboratório multiusuário do Instituto de Química da UNESP de Araraquara por terem me oferecido o apoio e estrutura para realização desse trabalho.

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

Jampani JLA. Efeito do tratamento da guta-percha com biosilicato e sua interação com cimentos endodônticos [dissertação de mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2025.

RESUMO

Guta-percha (GP) não apresenta adequada interface com o cimento obturador. Biosilicato (BS, LaMaV-UFSCar, São Carlos, SP, Brasil) é uma composição de biovidro com propriedades bioativas, podendo promover bioatividade. **Subprojeto1:** O objetivo desse estudo foi avaliar revestimento de superfície (dip-coating) da guta-percha (GP) por Biosilicato (BS) e sua interação com cimentos endodônticos. **Metodologia:** A GP foi revestida por BS 2,5% (GPBS 2,5%), 5% (GPBS 5%) e 10% (GPBS 10%) (n=3). A concentração de 5% foi selecionada para análise de superfície por espectroscopia por energia dispersiva (EDS), por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e resistência de união (RU) pelo teste de tração. A interface entre a GP, GPBS5% e os cimentos endodônticos biocerâmicos Bio-C Sealer (BCS, Angelus, Brasil), BioRoot (BR, Septodont, França) (BR) e cimento resinoso AH Plus (AHP, Dentsply, Alemanha) sem e após imersão em PBS por 28 dias (GP28D), (GPBS5%28D) foi realizada por FTIR. GP e GPBS5% foram colocadas em contato com os cimentos para avaliação da RU por meio do teste de tração (n=11). Os dados foram analisados por ANOVA e teste de Tukey ($p<0,05$). **Resultados:** GPBS 5% e 10% apresentaram maior cobertura superficial após imersão em PBS ($p<0,05$), sugerindo potencial bioativo (PB). EDS, após PBS, demonstrou para GP BS5% significativa presença de Cálcio e fósforo, evidenciando o PB. FTIR na interface GP sem revestimento e os cimentos antes e após PBS indicou baixa interação química. GPBS5% em contato com os cimentos biocerâmicos sem imersão demonstrou presença de carbonatos, cálcio e sílica na interface, reforçando a interação BS cimentos. Após imersão da GPBS5%28D em contato com os cimentos biocerâmicos (BCS e BR), foram observadas bandas espectrais compatíveis com a formação de cristais de apatita carbonatada, em comparação a GPBS5% sem PBS, indicando maior bioatividade e interação. Para AHP baixa interação química com GPBS5% foi observada antes e após PBS. GPBS5%-BCS e GPBS5%-BR apresentaram maior RU que grupos sem revestimento ($p<0,05$). Para o AHP, a RU foi similar com e sem revestimento por BS ($p>0,05$). **Conclusões:** A GP revestida com biosilicato apresentou potencial bioativo e promoveu maior interação química e RU com cimentos biocerâmicos. **Subprojeto 2:** Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da incorporação física de Biosilicato na Guta-Percha, bem como investigar sua interação com diferentes cimentos endodônticos. **Metodologia:** Foi realizada a incorporação física de Biosilicato em pó na concentração de 2% em massa da GP (GPBS2%). A análise superficial da foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia por energia dispersiva (EDS) antes e após imersão em solução tampão fosfato (PBS) por 28 dias (n=3). A análise da interface entre a GP, GPBS2% e os cimentos endodônticos biocerâmicos Bio-C Sealer (BCS) e BioRoot RCS (BR) e o resinoso AH Plus (AHP) sem e após imersão em PBS por 28 dias (GP28D),

(GPBS2%28D) foi realizada por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), utilizando espectrofotômetro Bruker Vertex 70 acoplado ao microscópio Bruker Hyperion 2000. GP sem tratamento e GPBS2% foram colocadas em contato com os cimentos para avaliação da resistência de União (RU) por meio do teste de tração (n=11). Os dados foram analisados por ANOVA e teste de Tukey ($p<0,05$). **Resultados:** GPBS2% apresentou maior cobertura superficial após imersão em PBS ($p<0,05$), sugerindo potencial bioativo (PB). EDS, após PBS, demonstrou para GPBS2% significativa presença de Cálcio e fósforo, sugerindo PB. FTIR demonstrou para a interface entre a GP sem revestimento e cimentos antes e após PBS baixa interação química. GPBS2% em contato com cimentos biocerâmicos sem imersão, apresentaram presença de carbonatos, cálcio e sílica, reforçando a interação do BS com os cimentos. Após imersão GPBS2%28D em contato com os cimentos biocerâmicos (BCS e BR), bandas espectrais compatíveis com a formação de cristais de apatita carbonatada foram observadas, em comparação a GPBS2% sem PBS, indicando aumento na bioatividade e interação química na interface. Para AHP baixa interação química com GPBS5% foi observada sem imersão em PBS. Após PBS, foi observada uma discreta alteração química na interface. GPBS5%-BCS e GPBS2%-BR apresentaram maior resistência de união que a GP sem tratamento ($p<0,05$). Para AHP, a GP sem tratamento e GPBS2% apresentaram RU semelhantes ($p>0,05$). **Conclusão:** GP incorporada com biosilicato 2% apresentou potencial bioativo, e promoveu maior interação química na interface com cimentos biocerâmicos, com deposição de apatita carbonatada. A incorporação de biosilicato 2% na GP aumentou significativamente a resistência de união com os cimentos biocerâmicos BCS e BR e manteve a RU para AHP. Sendo assim, a incorporação de biosilicato na composição da GP, pode ser uma alternativa relevante para melhorar interação e estabilidade química na interface obturadora entre GP e cimentos biocerâmicos.

Palavras-chave: Calcareia silicata; Guta-percha; materiais biocompatíveis; materiais dentários; Materiais restauradores do canal radicular.

Jampani JLA. Effect of gutta-percha treatment with biosilicate and its interaction with bioceramic endodontic sealers [dissertação de mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2025.

ABSTRACT

Gutta-percha (GP) does not present an adequate interface with the root canal sealer. Biosilicate (BS, LaMaV-UFSCar, São Carlos, SP, Brazil) is a bioglass composition with bioactive properties and can promote bioactivity. **Subproject 1:** The objective of this study was to evaluate the surface coating (dip-coating) of gutta-percha (GP) with Biosilicate (BS) and its interaction with endodontic sealers. **Methodology:** The GP was coated with BS 2.5% (GPBS 2.5%), 5% (GPBS 5%), and 10% (GPBS 10%) ($n = 3$). The 5% concentration was selected for surface analysis by energy-dispersive spectroscopy (EDS) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and bond strength (RU) by tensile testing. The interface between GP, GPBS5% and the bioceramic endodontic sealers Bio-C Sealer (BCS, Angelus, Brazil), BioRoot (BR, Septodont, France) (BR) and resin cement AH Plus (AHP, Dentsply, Germany) without and after immersion in PBS for 28 days (GP28D), (GPBS5%28D) was performed by FTIR. GP and GPBS5% were placed in contact with the sealers to evaluate the UR through the tensile test ($n=11$). The data were analyzed by ANOVA and Tukey's test ($p<0.05$). **Results:** GPBS 5% and 10% showed greater surface coverage after immersion in PBS ($p<0.05$), suggesting bioactive potential (PB). EDS, after PBS, demonstrated for GP BS5% significant presence of calcium and phosphate, evidencing PB. FTIR at the interface GP without coating and cements before and after PBS indicated low chemical interaction. GPBS5% in contact with bioceramic cements without immersion demonstrated the presence of carbonates, calcium and silica at the interface, reinforcing the BS cement interaction. After immersion of GPBS5%28D in contact with bioceramic cements (BCS and BR), spectral bands compatible with the formation of carbonated apatite crystals were observed, compared to GPBS5% without PBS, indicating greater bioactivity and interaction. For AHP, low chemical interaction with GPBS5% was observed before and after PBS. GPBS5%-BCS and GPBS5%-BR presented higher RU than groups without coating ($p<0.05$). For AHP, the RU was similar with and without BS coating ($p>0.05$). **Conclusions:** The GP coated with biosilicate showed bioactive potential and promoted greater chemical interaction and RU with bioceramic cements. **Subproject 2:** This study aimed to evaluate the effect of the physical incorporation of Biosilicate in Gutta-Percha, as well as to investigate its interaction with different endodontic sealers. **Methodology:** Physical incorporation of Biosilicate powder at a concentration of 2% by mass of GP (GPBS2%) was performed. Surface analysis was performed by scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive spectroscopy (EDS) before and after immersion in phosphate buffer solution (PBS) for 28 days ($n=3$). The analysis of the interface between GP, GPBS2% and the bioceramic endodontic sealers Bio-C Sealer (BCS) and BioRoot RCS (BR) and the resin AH Plus (AHP) without and after immersion in PBS for 28 days (GP28D), (GPBS2%28D) was performed by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), using a Bruker Vertex 70 spectrophotometer coupled to a Bruker Hyperion 2000 microscope. GP without treatment and GPBS2% were placed in contact with the sealers to evaluate the Bond Strength (RU) through the tensile test ($n=11$). The data were analyzed by ANOVA and Tukey's test ($p<0.05$). **Results:** GPBS2% showed greater surface coverage after immersion in PBS ($p<0.05$), suggesting bioactive potential (BP). EDS, after PBS, demonstrated a significant presence of calcium and phosphate for GPBS2%, suggesting BP. FTIR demonstrated low chemical interaction

for the interface between uncoated GP and cements before and after PBS. GPBS2% in contact with bioceramic cements without immersion showed the presence of carbonates, calcium, and silica, reinforcing the interaction of BS with the cements. After immersion, GPBS2% in contact with bioceramic cements (BCS and BR), spectral bands compatible with the formation of carbonated apatite crystals were observed, compared to GPBS2% without PBS, indicating an increase in bioactivity and chemical interaction at the interface. For AHP, low chemical interaction with GPBS5% was observed without immersion in PBS. After PBS, a discrete chemical change was observed at the interface. GPBS5%-BCS and GPBS2%-BR showed higher bond strength than untreated GP ($p < 0.05$). For AHP, untreated GP and GPBS2% showed similar RU ($p > 0.05$). Conclusion: GP incorporated with 2% biosilicate showed bioactive potential and promoted greater chemical interaction at the interface with bioceramic cements, with deposition of carbonated apatite. The incorporation of 2% biosilicate into GP significantly increased the bond strength with BCS and BR bioceramic cements and maintained the UR for AHP. Therefore, the incorporation of biosilicate into GP composition may be a relevant alternative for improving the interaction and chemical stability at the obturator interface between GP and bioceramic cements.

Keywords: *Calcearea silicata*; Gutta-percha; biocompatible materials; dental materials; root canal filling materials.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 PROPOSIÇÃO	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 PUBLICAÇÃO	14
3.1 Publicação 1	14
3.2 Publicação 2	35
4 DISCUSSÃO	55
5 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	58
APÊNDICE A – METODOLOGIA EXPANDIDA	63

1 INTRODUÇÃO

A obturação dos canais radiculares tem como objetivo o selamento eficaz do sistema de canais, prevenindo a reinfecção e, conseqüentemente, contribuindo para o sucesso do tratamento endodôntico¹⁻³. Para isso, os materiais obturadores devem apresentar compatibilidade biológica e, preferencialmente, induzir o reparo periapical por mineralização⁴. Os cimentos endodônticos exercem papel fundamental ao estabelecerem a conexão entre a dentina e a guta-percha, assegurando o selamento dos canais radiculares⁵. Assim, a qualidade da interface entre a guta-percha e o cimento obturador biocerâmico (GP-COB) torna-se um aspecto relevante a ser considerado⁶⁻¹¹.

A técnica convencional de obturação utiliza materiais sólidos, geralmente cones de guta-percha (GP), associados a um cimento endodôntico que preenche os espaços entre a dentina e a GP, promovendo o selamento adequado dos canais radiculares^{12,13}. A GP é um material inerte, comercializado em forma de cones, composta por uma fração inorgânica de sulfato de bário (BaSO_4) e óxido de zinco (ZnO), e uma fração orgânica formada por ceras, resinas e a própria guta-percha¹⁴. Suas principais propriedades incluem biocompatibilidade, estabilidade dimensional, radiopacidade, termoplasticidade e a possibilidade de remoção em casos de retratamento¹⁵. No entanto, por não apresentar propriedades adesivas, a GP pode permitir microfilitrações durante a obturação, o que justifica a importância do cimento obturador¹⁴.

O AH Plus (Dentsply Sirona, Alemanha) é um cimento resinoso amplamente utilizado, conhecido por sua baixa solubilidade^{16,17}, pH alcalino, radiopacidade, estabilidade dimensional¹⁸ e adesão predominantemente física com a dentina¹⁹. Comparado aos cimentos biocerâmicos, o AH Plus tende a induzir maior resposta inflamatória²⁰ e menor viabilidade celular²¹. Sua adesão à dentina ocorre por coesão entre suas moléculas e pela capacidade de penetração em irregularidades da superfície dentinária²².

Cimentos biocerâmicos, também conhecidos como à base de silicato de cálcio, têm sido desenvolvidos por suas características de biocompatibilidade, bioatividade, alcalinidade e atividade antimicrobiana²³. Apesar dessas propriedades, podem apresentar maior solubilidade. O BioRoot RCS (Septodont, França) é um exemplo de cimento biocerâmico em forma de pó e líquido, composto por silicato tricálcico,

óxido de zircônio e povidona no pó, enquanto o líquido contém solução aquosa de cloreto de cálcio e policarboxilato^{13,24,25}. A sua capacidade de promover bioatividade, biocompatibilidade e reparação tecidual está associada à liberação prolongada de íons cálcio e hidroxila²⁶. O BioRoot apresenta selamento adequado com a dentina dos canais radiculares e boa resistência ao deslocamento. Seu pH alcalino favorece a ação antibacteriana e o estímulo à formação de tecido mineralizado^{13,27}.

O Bio-C Sealer (Angelus, Brasil) é um cimento biocerâmico pronto para uso, cuja formulação inclui silicatos de cálcio, silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, óxido de cálcio, óxido de zircônia, óxido de silício, polietilenoglicol e óxido de ferro^{13,20,24,28}. Esse material apresenta escoamento adequado, estabilidade dimensional, radiopacidade e boa resistência de união com a dentina^{13,20,24}. Além disso, é biocompatível e possui capacidade de liberação de íons cálcio, que contribuem para sua bioatividade^{20,24,28,29}.

A reinfecção do sistema de canais radiculares pode ocorrer por duas vias principais. A via coronal é caracterizada pela infiltração de microrganismos devido à falha no selamento coronário, sendo que a baixa qualidade da obturação do canal é um fator crítico para o insucesso do tratamento endodôntico³⁰. Já a via apical está relacionada à complexidade microbiana do terço apical, onde se observa uma comunidade mais diversificada e anaeróbica do que na porção coronária³¹. A interface entre GP e cimento é reconhecida como um ponto crítico e passível de microinfiltração no sistema de canais radiculares¹³.

Com o objetivo de melhorar essa interface, técnicas de obturação utilizando cimentos biocerâmicos em conjunto com cones de guta-percha revestidos e impregnados com nanopartículas biocerâmicas foram desenvolvidas, promovendo maior interação e adesão entre as partículas dos dois materiais³². Materiais como vidros bioativos têm sido utilizados em implantodontia para promover ligação química entre implante e tecido hospedeiro^{33,34}, destacando-se por sua bioatividade e atividade antimicrobiana³⁵⁻³⁸.

Nesse contexto, o Biosilicato® (LaMaV-UFSCar, São Carlos, SP, Brasil) surge como uma composição específica de um material vitrocerâmico, desenvolvido por tratamento térmico controlado, com aplicações médicas e odontológicas³⁹. Entre suas principais propriedades, destacam-se a bioatividade, osteocondução, osteoindução e o estímulo ao reparo e consolidação de fraturas⁴⁰. O Biosilicato também foi proposto no tratamento da hipersensibilidade dentinária, devido à sua

capacidade de promover a deposição de hidroxicarbonato apatita nos túbulos dentinários abertos³⁹. A interação entre o Biosilicato e os tecidos dentinários pode induzir a formação de uma camada de hidroxiapatita carbonatada (HCA)⁴¹. Dessa forma, o uso do Biosilicato no tratamento superficial da GP representa uma abordagem inovadora para promover maior bioatividade e interação química com cimentos endodônticos biocerâmicos.

O dip-coating é uma técnica amplamente empregada para a aplicação de nanopartículas em diferentes substratos. Trata-se de um método simples, de baixo custo, confiável e reprodutível, que consiste na imersão do material em uma suspensão, permitindo o revestimento de partículas sobre sua superfície. Além disso, a incorporação física de partículas à massa do material também é uma alternativa viável para modificação de propriedades⁴².

A caracterização dos materiais pode ser realizada por diversas técnicas. O microscópio eletrônico de varredura (MEV) permite a análise microestrutural de amostras sólidas com alta resolução e obtenção de imagens tridimensionais⁴³. Secções transversais de dentina obturadas podem ser examinadas por MEV para avaliação da interface GP-CO⁴⁴. A espectroscopia por dispersão de energia de raios X (EDS) é utilizada para identificar e quantificar elementos químicos na superfície, como cálcio (Ca), fósforo (P), oxigênio (O), carbono (C) e silício (SiO₂)^{44,45}. A espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) também é amplamente usada na caracterização química de superfícies, permitindo a identificação de grupos funcionais e composições químicas por meio de bandas vibracionais características⁴⁸⁻⁵⁰. Complementarmente, a resistência de união entre materiais dentários pode ser avaliada por meio de testes mecânicos, fornecendo dados sobre a força necessária para o deslocamento dos materiais e sua capacidade de prevenir microinfiltração⁴².

Dessa forma, considerando as propriedades bioativas do Biosilicato, seu uso como tratamento de superfície da guta-percha configura uma proposta promissora para aumentar a adesão com cimentos obturadores, minimizar a microinfiltração e potencialmente melhorar o sucesso dos tratamentos endodônticos.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que, a tanto o revestimento quanto a incorporação de biosilicato na GP fez com que a GP apresentasse potencial bioativo e interação química com os cimentos biocerâmicos BCS e BR. Além disso, aumentou significativamente a resistência de união com os cimentos biocerâmicos BCS e BR e manteve a RU para AHP. Sendo assim, o tratamento da GP com biosilicato seja por meio do revestimento ou incorporação, pode ser uma alternativa relevante para melhorar a adesão e estabilidade química na interface obturadora entre GP e cimentos biocerâmicos.

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. Ozata F, Erdilek N, Tezel H. A comparative sealability study of different retrofilling materials. *Int Endod J.* 1993;26(4):241–5.
3. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endod.* 1993;19(12):591–5.
4. Barbosa SV, Araki K, Spångberg LS. Cytotoxicity of some modified root canal sealers and their leachable components. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1993;75(3):357–61.
5. 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.
6. 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;46:253–63.
7. Viapiana R, Moinzadeh AT, Camilleri L, Wesselink PR, Tanomaru-Filho M, Camilleri J. Porosity and sealing ability of root fillings with gutta-percha and BioRoot RCS or AH Plus sealers: evaluation by three ex vivo methods. *Int Endod J.* 2016;49:774–82.
8. Pedullà E, Abiad RS, Conte G, La Rosa GRM, Rapisarda E, Neelakantan P. Root fillings with a matched-taper single cone and two calcium silicate-based sealers: an analysis of voids using micro-computed tomography. *Clin Oral Investig.* 2020;24:4487–92.
9. Moinzadeh AT, Zerbst W, Boutsoukis C, Shemesh H, Zaslansky P. Porosity distribution in root canals filled with gutta-percha and calcium silicate cement. *Dent Mater.* 2015;31:1100–8.
10. Kim S, Kim S, Park J-W, Jung I-Y, Shin S-J. Comparison of the percentage of voids in the canal filling of a calcium silicate-based sealer and gutta-percha cones using two obturation techniques. *Materials (Basel).* 2017;10:1170.
11. Kim J-A, Hwang Y-C, Rosa V, Yu M-K, Lee K-W, Min K-S. Root canal filling quality of a premixed calcium silicate endodontic sealer applied using gutta-percha cone-mediated ultrasonic activation. *J Endod.* 2018;44:133–8.

* 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>

12. Vertuan GC, Duarte MAH, Moraes IG, Piazza B, Vasconcelos BC, Alcalde MP, et al. Evaluation of physicochemical properties of a new root canal sealer. *J Endod.* 2018;44(3):501–5.
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. Maniglia-Ferreira C, Silva JB Jr, Paula RC, Feitosa JP, Cortez DG, Zaia AA, et al. Brazilian gutta-percha points. Part I: chemical composition and X-ray diffraction analysis. *Braz Oral Res.* 2005;19(3):193–7.
15. Salvia AC, Teodoro GR, Balducci I, Koga-Ito CY, Oliveira SH. Effectiveness of 2% peracetic acid for the disinfection of gutta-percha cones. *Braz Oral Res.* 2011;25(1):23–7.
16. Borges AH, Dorileo MCO, Dalla Villa R, Borba AM, Semenoff TA, Guedes OA, et al. Physicochemical properties and surface morphologies evaluation of MTA FillApex and AH Plus. *ScientificWorldJournal.* 2014;2014:589732.
17. Tanomaru-Filho M, Torres FFE, Chavez-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.
18. Almeida MM, Rodrigues CT, Matos AA, Carvalho KK, Silva EJ, Duarte MA, et al. Analysis of the physicochemical properties, cytotoxicity and volumetric changes of AH Plus, MTA Fillapex and TotalFill BC Sealer. *J Clin Exp Dent.* 2020;12(11):e1058–65.
19. 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):E684.
20. 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.
21. Giacomino CM, Wealleans JA, Kuhn N, Diogenes A. Comparative biocompatibility and osteogenic potential of two bioceramic sealers. *J Endod.* 2019;45(1):51–6.
22. Nunes VH, Silva RG, Alfredo E, Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YT. Adhesion of Epiphany and AH Plus sealers to human root dentin treated with different solutions. *Braz Dent J.* 2008;19(1):46–50.
23. Benetti F, Queiroz IOA, Oliveira PHC, Conti LC, Azuma MM, Oliveira SHP, et al. Cytotoxicity and biocompatibility of a new bioceramic endodontic sealer containing calcium hydroxide. *Braz Oral Res.* 2019;33:e042.

24. Zordan-Bronzel CL, Torres FFET, Tanomaru-Filho M, Chavez-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.
25. Prullage RK, Urban K, Schäfer E, Dammaschke T. Material properties of a tricalcium silicate-containing, a mineral trioxide aggregate-containing, and an epoxy resin-based root canal sealer. *J Endod*. 2016;42(12):1784–8.
26. 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.
27. 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(Suppl 2):e120–36.
28. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M. Physical properties of five root canal sealers. *J Endod*. 2013;39(10):1281–6.
29. 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;50(Suppl 2):e95–108.
30. Costa FF, Pires FR, Prieto LT, Ghizoni JS, Filho IB, Neto MD, et al. Influence of coronal restoration and root canal filling quality on periapical status: clinical and radiographic evaluation. *J Endod*. 2015;41(6):836–40.
31. Javidi M, Zarei M, Vatanpour M, Alavi AM, Ghoddusi J. Ecology of the microbiome of the infected root canal system: a comparison between apical and coronal root segments. *Int Endod J*. 2012;45(3):225–31.
32. Biocanin V, Antonijevic D, Postic S, Ilic D, Vukovic Z, Milic M, et al. Marginal gaps between two calcium silicate and glass ionomer cements and apical root dentin. *J Endod*. 2018;44(5):816–21.
33. Hench LL. The story of Bioglass®. *J Mater Sci Mater Med*. 2006;17:967–78.
34. Zhang D, Leppäranta O, Munukka E, et al. Antibacterial effects and dissolution behavior of six bioactive glasses. *J Biomed Mater Res A*. 2009;9999A:NA.
35. Moura D, Souza MT, Liverani L, et al. Development of a bioactive glass-polymer composite for wound healing applications. *Mater Sci Eng C*. 2017;76:224–32.
36. 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;50:730–3.

37. Ravagnani C, Zanotto ED, Lara EHG, Panzeri H. Process and compositions for preparing particulate, bioactive or resorbable biosilicates for use in the treatment of oral ailments. Classificação Internacional C03C10/00. São Carlos, Brazil: Universidade Federal de São Carlos; Universidade de São Paulo; 2004.
38. Queiroz MB, Torres FFET, Rodrigues EM, Viola KS, Bosso-Martelo R, Chavez-Andrade GM, et al. Development and evaluation of reparative tricalcium silicate-ZrO₂-Biosilicate composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2021;109(4):468–76.
39. Hench LL, Wilson J. Surface-active biomaterials. *Science*. 1984;226(4675):630–6.
40. Herrera MA, Sirviö JA, Mathew AP, Oksman K. Environmentally friendly and sustainable gas barrier on porous materials: nanocellulose coatings prepared using spin- and dip-coating. *Mater Des*. 2016;93:19–25.
41. Lucas CP, 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.
42. Viapiana R, Guerreiro-Tanomaru JM, Hungaro-Duarte MA, Tanomaru-Filho M, Camilleri J. Chemical characterization and bioactivity of epoxy resin and Portland cement-based sealers with niobium and zirconium oxide radiopacifiers. *Dent Mater*. 2014;30(9):1005–20.
43. 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.
44. 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.
45. 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. *Appl Sci*. 2024;14(24):11867.
46. 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):11895.
47. 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):299.

48. Ramirez I, Alves dos Santos GN, Castro GPA, 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;140:103991.
49. 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.
50. 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.
51. Fay FR, Pashley DH, Rueggeberg FA, Loushine RJ, Weller RN. Calcium phosphate phase transformation produced by the interaction of the Portland cement component of white mineral trioxide aggregate with a phosphate-containing fluid. *J Endod*. 2007;33(11):1347–51.
52. Niu LN, Jiao K, Wang TD, Zhang W, Camilleri J, Bergeron BE, et al. A review of the bioactivity of hydraulic calcium silicate cements. *J Dent*. 2014;42(5):517–33.
53. Assis TL, et al. The influence of root canal sealers on the adhesion of gutta-percha: a systematic review. *J Endod*. 2022;48(8):1000–9.
54. Sanz JL, López-García S, Rodríguez-Lozano FJ, Melo M, Lozano A, Llena C, Forner L. Cytocompatibility and bioactive potential of AH Plus Bioceramic Sealer: an in vitro study. *Int Endod J*. 2022;55(10):1066–80.
55. Moinzadeh A, et al. Effects of bioactive materials on bond strength of endodontic sealers. *Dent Mater J*. 2016;35(3):419–25.