

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

MATERIAIS BIOCERÂMICOS PARA OBTURAÇÃO DE CANAIS EM ENDODONTIA: ATUALIZAÇÕES E DESEMPENHO CLÍNICO.

Trabalho submetido por

Mariam Zakraoui

Para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Junho de 2024

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

MATERIAIS BIOCERÂMICOS PARA OBTURAÇÃO DE CANAIS EM ENDODONTIA: ATUALIZAÇÕES E DESEMPENHO CLÍNICO.

Trabalho submetido por

Mariem Zakraoui

Para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Junho de 2024

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Ignacio Barbero

Que me acompanhou durante a preparação deste trabalho, obrigada pela ajuda, partilha de conhecimento e conselhos fornecidos.

Ao Professor Doutor Paulo Mauricio

Obrigada pela sua disponibilidade, pelo seu envolvimento neste trabalho, pela sua gentileza e pela sua benevolência.

Por favor encontre aqui a expressão da minha estima e amizade sincera.

À Professora doutora Irene Ventura e à Professora doutora Ana Azul

Esta dissertação não seria possível sem a disponibilidade e boa fé demonstrada. Obrigada pela paciência, preocupação e suporte mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha professora de português Nancy Lopes,

Seu ensino e incentivo foram de grande ajuda na aquisição de habilidades linguísticas que me foram muito úteis. Obrigada pela sua paixão e dedicação.

A toda a faculdade Egas Moniz,

Agradeço a todos os membros do corpo docente e administrativo pelo apoio contínuo. Sua dedicação ao ensino e à pesquisa criou um ambiente propício à aprendizagem e à excelência académica.

DEDICATÓRIA

Para o meu pai Faouzi que partiu cedo demais,

Mesmo que não esteja mais aqui fisicamente, sua lembrança e seus ensinamentos continuam a me inspirar todos os dias. Esta tese é dedicada à sua memória.

Para a minha mãe Lilia,

Obrigada pelo seu amor incondicional, seu apoio incansável e seus sacrifícios. Sua coragem e determinação sempre me guiaram.

Para o meu esposo Zied e minha filha Baya,

Obrigada pelo seu amor e paciência. Vocês são minha fonte de força e motivação. Este sucesso é tanto de vocês quanto meu.

Para a minha irmã Amira e meu irmão Mohamed,

Vocês sempre estiveram ao meu lado, nos momentos de alegria e nos momentos de dificuldade. Obrigada pela sua presença e carinho.

RESUMO:

O sucesso do tratamento endodôntico, de acordo com os ensinamentos de Schilder, depende da gestão eficaz de três elementos cruciais: desinfecção, instrumentação e obturação. Nesse contexto, obter um selamento perfeito do sistema de canais é essencial para o sucesso do tratamento.

Nas técnicas modernas de obturação, a guta-percha é o material de obturação predominante. No entanto, é imperativo combiná-la com um cimento para obter um selamento tridimensional hermético no sistema de canais.

Recentemente, surgiram cimentos de obturação à base de biocerâmicos, oferecendo vantagens significativas em várias situações endodônticas clínicas.

Os materiais biocerâmicos englobam uma gama de materiais, incluindo alumina, zircônia, vidro bioativo, cerâmicas de vidro, hidroxiapatite e fosfatos de cálcio reabsorvíveis. No campo da endodontia, elas podem ser amplamente categorizadas com base na sua composição, incluindo à base de fosfato de cálcio/tricálcio/hidroxiapatite, à base de silicato de cálcio ou misturas de silicato de cálcio e fosfatos.

A introdução dos materiais biocerâmicos pode ser uma alternativa preferida devido à sua excepcional estabilidade dimensional e às suas propriedades aprimoradas de biocompatibilidade e bioatividade, que abordam de maneira notável as deficiências associadas aos cimentos endodônticos tradicionais.

O objetivo do nosso trabalho é descrever os benefícios dos cimentos de obturação canal com base de biocerâmicas na endodontia, a sua composição, vantagens e protocolo de operação no preenchimento definitivo de canais radiculares. Vamos nos concentrar no desempenho clínico desse material, em particular nas suas propriedades de selamento e cicatrização periapical.

Esta revisão abrange as publicações compreendidas no período de 2000 a 2024, em motores de pesquisa e base de dados como o PubMed, Scopus, Web of Science e Google Scholar.

Palavras-chave: Selantes, Bioerâmicos, Silicato de cálcio e Obturação.

ABSTRACT

The success of endodontic treatment, According to Schilder's teachings, relies on the effective management of three crucial elements: disinfection, shaping, and obturation. In this context, achieving a perfect seal within the canal system is essential for treatment success. In modern obturation techniques, gutta-percha is the predominant obturation material. Therefore, it is imperative to combine it with a sealer to achieve a hermetic three-dimensional seal within the canal system.

Recently, bioceramic obturation cements have emerged, offering significant advantages in various clinical endodontic scenarios. Bioceramics encompass a range of materials, including alumina, zirconia, bioactive glass, glass ceramics, hydroxyapatite, and resorbable calcium phosphates. In the field of endodontics, they can be broadly categorized based on their composition, including calcium phosphate/tricalcium/hydroxyapatite-based, calcium silicate-based, or mixtures of calcium silicate and phosphates.

The introduction of bioceramics may well serve as a preferred alternative due to their exceptional dimensional stability, improved biocompatibility properties, and bioactivity, which notably address the shortcomings associated with traditional endodontic cements.

The primary objective of this study is to provide an overview of bioceramics, their classification, their advantages, and a detailed analysis of individual bioceramic materials currently used in endodontics, highlighting their specific properties and applications. This includes root-end filling, root canal therapy, regenerative endodontic treatment, perforation repair, and the restoration of root defects.

The aim of our work is to describe the benefits of bioceramic-based root canal sealers in endodontics, their composition, advantages and operating protocol in the definitive filling of root canals. We will focus on the clinical performance of this material, in particular its sealing and periapical healing properties.

This review covers publications from 2000 to 2024 in search engines and databases such as PubMed, Scopus, Web of Science and Google Scholar.

Keywords: Sealants, Bioceramics, Calcium silicate and Filling.

ÍNDICE GERAL

I	Introdução.....	14
II	Desenvolvimento.....	16
1	Metodologia.....	16
2	Conceitos gerais e definição dos materiais biocerâmicos à base silicato de cálcio utilizados em Endodontia.....	16
2.1	Definição.....	16
2.2	Histórico e cronologia de aparecimento.....	17
2.3	Classificação.....	20
2.3.1	Classificação segundo a indicação terapêutica.....	20
2.3.2	Classificação segundo a composição química dos materiais.....	21
2.3.3	Classificação por componente principal.....	22
2.4	Apresentação clínica.....	23
3	Materiais biocerâmicos para obturação de canais de última geração.....	24
3.1	Composição.....	24
3.2	Formulação farmacêutica, reação de presa e características de aplicação.....	28
3.3	Propriedades.....	30
3.3.1	Propriedades biológicas.....	31
3.3.1.1	Biocompatibilidade.....	31
3.3.1.2	Bioatividade e Estimulação da Biomineralização.....	34
3.3.1.3	Ação antibacteriana.....	37
3.3.1.4	Ação antifúngica.....	40
3.3.2	Propriedades físico-químicas.....	41
3.3.2.1	A molhabilidade / O fluxo.....	41
3.3.2.2	Viscosidade.....	43
3.3.2.3	A adesão : Resistência à deslocamento.....	46
3.3.2.4	Selamento: ausência de microinfiltração.....	47
3.3.2.5	A solubilidade.....	49
3.3.2.6	Variações dimensionais.....	50
3.3.2.7	Radiopacidade.....	52
3.3.2.8	Tempos de presa e de trabalho.....	53
3.3.3	Propriedades mecânicas: resistência à fratura radicular.....	55

3.3.4	Propriedades estéticas.....	56
3.3.5	Retratamento.....	58
4	Aplicações clínicas dos cimentos biocerâmicos e seus benefícios em Endodontia ...	61
4.1	Contribuição dos MBCOC para a cicatrização de lesões periapicais.....	62
4.2	Contribuição dos MBCOC para a reparação de perfurações.....	63
4.3	Contribuição dos MBCOC para o tratamento de reabsorções internas não perfurantes	64
4.4	Aspectos técnicos	64
4.4.1	Técnica de cone único	64
4.4.2	Protocolo clínico.....	67
4.4.2.1	Técnica de Compactação Lateral a Frio	67
4.4.2.2	Técnica de Condensação Vertical a Quente.....	69
4.4.2.3	Técnica de obturação monocónica	71
5	Discussão.....	72
III	Conclusões.....	76
	Referências bibliográficas	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : esquema em corte transversal de um dente que ilustra as diferentes aplicações dos biocerâmicos.	21
Figura 2 : Os cimentos hidráulicos à base de silicato de cálcio são apresentados em diferentes formas clínicas: (A) ProRoot MTA está disponível em pó e líquido, (B) MM-MTA é fornecido em cápsula com um sistema de pistola, (C) Biodentine também está em cápsula, mas não requer pistola ou seringa, (D) MTA Flow, na forma de pó e líquido, é fornecido com uma seringa descartável para facilitar a administração, e finalmente (E) TotalFill BC está disponível em produtos pré-misturados em seringas.	23
Figura 3 : Os biocerâmicos e suas diferentes indicações terapêuticas.	24
Figura 4 : Apresentação Comercial do Endosequence® BC Sealer™ (uma forma fluida pré-misturada e injetável).	25
Figura 5: Apresentação Comercial do Totalfill ®BC sealer™ (uma forma fluida pré-misturada e injetável).....	26
Figura 6 : Apresentações Comerciais : IRoot® SP (uma forma fluida pré-misturada e injetável).	26
Figura 7: Apresentação Comercial do MTA fillapex® (uma forma fluida pré-misturada e injetável).	26
Figura 8: Apresentação Comercial do Bioroot RCS™ (uma forma "pó + líquido" para misturar).....	27
Figura 9: Apresentação Comercial do ProRoot® ES (uma forma "pó + líquido" para misturar).....	28
Figura 10: Pontas EndoSequence e TotalFill BC, 150 Séries BC pontos e BC Pellets ,da esquerda para a direita.	30
Figura 11 : Taxa de sobrevivência celular após contato direto por 24 horas com 3 cimentos de selamento.....	32
Figura 12 : A mineralização das células osteoblásticas humanas tratadas por 14 dias:(A) Os depósitos de cálcio de cor laranja, corados com Vermelho de Alizarina S, são visíveis nas células tratadas com o Selante TotalFill BC (25%). No entanto, as células AH Plus não apresentaram nódulos mineralizados (B).....	33
Figura 13: Diagrama de quantidade de osteoblastos humanos após contato com diferentes cimentos endodônticos. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas em relação ao grupo controle.	34

Figura 14: Características interfaciais para o BioRoot RCS® mostrando uma camada rica em minerais na interface (marcada por uma seta) e etiquetas de selamento.	35
Figura 15: Diagrama de sobrevivência de <i>E. faecalis</i> após contato direto com cada cimento em 2, 5, 20 e 60 minutos após 24 horas de fixação dos cimentos : C (controle), iRSP (iRootSP®), APT (Apexit Plus®), AHP (AH Plus®), TS (TubliSeal®), SPX (Sealapex®).	38
Figura 16: Viabilidade de (A) <i>E. Faecalis</i> , (B) <i>Streptococcus Mutans</i> , (C) <i>Streptococcus Epidermidis</i> e (D) <i>Streptococcus Aureus</i> após contato direto de uma hora com AH Plus®, Guttaflow 2®, TotalFill® e RoekoSeal® : Os asteriscos vermelhos indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos e o grupo controle para cada bactéria.....	39
Figura 17: Inibição do crescimento de <i>E. faecalis</i> após contato direto com diferentes selantes endodônticos: Sealer 26, MTA, Bioroot™RCS, Endofill.....	39
Figura 18 : Zona de inibição de <i>Candida albicans</i> para vários cimentos.	40
Figura 19: Diagrama dos valores de fluidez (em mm) de cada cimento endodôntico : AH Plus® Bioceramic sealer, AH Plus® e EndoSequence® BC Sealer™.	42
Figura 20 : As medições de fluidez (em mm) de diferentes selantes endodônticos: O Endosequence® BC™ sealer se destaca com o valor mais baixo de 18,45 +/- 1,31.	42
Figura 21: resultados de estudo sobre as características físicas de cinco selantes endodônticos : Os fluxos foram classificados em ordem crescente da seguinte forma: GuttaFlow®, AH Plus®, ThermaSeal®, PCS, BC Sealer®, MTA Fillapex®.	43
Figura 22 : Viscosidade dos diferentes selantes endodônticos : Testes realizados em diferentes velocidades de injeção (72 mm/min, 10 mm/min, 5 mm/min) a uma temperatura de 23°C ± 2°C.....	44
Figura 23 : A viscosidade em diferentes condições de temperatura para os selantes o EndoSequence®BC Sealer HiFlow™ e o EndoSequence® BC Sealer™ : a viscosidade desses selantes sob diferentes temperaturas, incluindo 21°C, 37°C, 100°C, 150°C, bem como variações de temperatura, como 100°C seguido por 37°C e 150°C seguido por 37°C.....	45
Figure 24: Comparação da estanqueidade dos canais radiculares obturados com AH Plus® e EndoSequence® BC Sealer™ em intervalos de 24 horas, 7 dias e 4 semanas : Com o AH Plus®, são observados espaços interfaciais, enquanto o EndoSequence® BC Sealer™ mostra uma melhor ligação química com a parede do canal devido à formação	

de hidroxiapatite, sugerindo uma melhor adaptabilidade dos materiais biocerâmicos na endodontia.	48
Figura 25 : Reconstruções volumétricas e caracterização dos espaços vazios das obturações radiculares realizadas com guta-percha e BioRoot RCS™ ou AH Plus®.. .	49
Figura 26 : Comparação das alterações dimensionais (%) dos selantes testados (AH Plus®, AH Plus® Bioceramic, Bio-C® Sealer, EndoSequence® BC Sealer™ e TotalFill® BC Sealer™), durante o mesmo período de avaliação, que vai de 6 horas a 30 dias.....	51
Figura 27: Mudança nos valores de ΔE (alterações de cor) de Pulpispad, AH26, MTA Fillapex e EndoREZ ao longo dos períodos de avaliação , 2019).....	57
Figura 28: Representação gráfica da mudança de cor para cada grupo experimental ao longo do tempo	58
Figura 29 : Imagens representativas dos modelos tridimensionais do sistema de canal radicular mostram os materiais de preenchimento residuais antes e após a utilização dos três protocolos de limpeza adicionais.....	60
Figura 30 :As imagens transversais do micro-CT dos canais radiculares, obturadas com BioRoot™ RCS e um único cone de guta-percha pelo clínico geral (a), endodontista (b), estudante de pós-graduação em endodontia (c), e estudante do quarto ano de medicina dentária (d).....	66
Figure 31: Diferentes métodos de administração de materiais fluidos à base de silicatos de cálcio : Os materiais fluidos à base de silicato de cálcio podem ser administrados (da esquerda para a direita) por injeção usando uma seringa, um lentulo em espiral, instrumentos endodônticos ou uma ponta de guta-percha.....	68
Figura 32 : As etapas clínicas da técnica de compactação lateral usando cones de guta-percha principais e acessórios e o espaçador digital.....	69
Figura 33 : A técnica "clássica" de compactação vertical a quente	70
Figura 34: Principais etapas clínicas da técnica de obturação com um único cone, utilizando o selante hidráulico fluido à base de silicato de cálcio BioRoot™ RCS e um único ponto de guta-percha.....	71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das composições do cimento Portland, do MTA, do ProRoot MTA® (cinza), do ProRoot MTA® (Branco), do Biodentine®, e do CEM®. (Dong e Xu, 2023; Surya Raghavendra e al., 2017; Torabinejad M, 2014)	19
Tabela 2: Composição e Apresentação Comercial dos principais cimentos para obturação dos canais à base de BC. (Aminoshariae e al., 2022 ; Küçükkaya Eren, 2023)	25
Tabela 3: classificação dos cimentos de selamento de acordo com a fonte de silicato de cálcio e a forma galênica (Zhekov & Stefanova, 2021)	28
Tabela 4: comparatç de microinfiltrações apicais após a presa de 2 cimentos em 3 diferentes períodos de tempo. (Asawaworarit e al., 2020)	48
Tableau 5: Tempos de presa e de trabalho de alguns novos cimentos de obturação à base de silicato de cálcio. (Dong e Xu, 2023; Khalil e al., 2016; Prüllage e al., 2016; Viapiana e al., 2016; Xuereb e al., 2015; Zhou e al., 2013).	54

LISTA DE ABREVIATURAS

Al : Equivalente de alumínio

BC: Biocerâmicos

CEM: Misturas enriquecidas com cálcio

E. faecalis: Enterococcus faecalis

FDA: Food and Drug Administration

MTA: Mineral thyroxide aggregate

MTAB: Mineral thyroxide aggregate branco

MBC: Materiais Biocerâmicos

MOC: Materiais para obturação dos canais.

MBCOC : Materiais Biocerâmicos para obturação dos canais

MBCOCs: Materiais Biocerâmicos para obturação dos canais

MEV:Microscopia electrónica de varredura

Micro-CT: Microtomografia computadorizada

OZE: óxido de zinco e eugenol

I Introdução

A importância da obturação no sucesso do tratamento endodôntico é destacada por Schilder, que enfatiza a tríade endodôntica: desinfecção, modelagem e obturação. Para garantir a durabilidade do tratamento, a qualidade da obturação do sistema de canais não deve ser negligenciada (Aminoshariae et al., 2022). Por isso, os profissionais usam diversos materiais, entre os quais a guta-percha, apesar da sua falta de adesão às paredes dentinárias. Para superar essa lacuna, foram desenvolvidos cimentos seladores para estabelecer uma junta entre a guta-percha e o dente (Al-Haddad & Aziz, 2016).

A fim de atender à crescente demanda por praticidade e eficácia, os profissionais estão à procura de materiais simples e rápidos de usar, garantindo uma obturação duradoura. Os cimentos à base de silicato de cálcio, chamados de biocerâmicos, surgiram dessa busca. Desde sua introdução há cerca de trinta anos, eles são usados por especialistas em endodontia para várias indicações, incluindo obturações retrógradas e obturações de perfuração (Drukteinis & Camilleri, 2021).

No entanto, as primeiras formulações desses cimentos eram difíceis de manipular, limitando assim a sua utilização generalizada em consultório. Só recentemente, há cerca de dez anos, foram comercializados cimentos seladores à base de silicato de cálcio, principalmente para obturações ortógradas na prática clínica geral. Apesar disso, são poucos os profissionais que ainda utilizam devido a preocupações persistentes sobre as suas propriedades físicas, a sua eficácia a longo prazo e a possibilidade de retratamento (Dong & Xu, 2023). Além disso, o seu custo mais elevado incentiva alguns profissionais a preferir os materiais tradicionais (M.Ree & R.Schwartz, 2017).

Nesse contexto, o objetivo desta tese é analisar a literatura para determinar as vantagens e desvantagens do uso desses cimentos seladores à base de silicato de cálcio, bem como suas indicações clínicas. Essa análise incluirá uma revisão sobre os silicatos de cálcio, uma apresentação dos novos cimentos seladores e das suas principais propriedades, além de destacar as suas principais indicações clínicas.

II Desenvolvimento

1 Metodologia

O principal objetivo deste trabalho é fornecer uma atualização sobre as propriedades dos materiais biocerâmicos para obturação dos canais e os seus benefícios clínicos através de uma revisão da literatura que visa fazer um balanço dos estudos *in vitro*, estudos clínicos e revisões sistemáticas das propriedades físico-químicas, propriedades biológicas e propriedades estéticas.

Para esta revisão foram utilizados motores de busca como o PubMed, Scopus, Google Scholar e Science Direct. Foi dada preferência a revisões sistemáticas e meta-análises, uma vez que estas oferecem um elevado nível de evidência. As pesquisas foram efectuadas utilizando palavras-chave MeSH, a fim de encontrar os artigos mais relevantes:

- “Bioceramic sealers properties”
- “Root canal treatment AND bioceramic sealers”,
- “Endodontic sealers AND bioceramics”
- “Clinical applications of bioceramic sealers”,
- “Bioceramic sealers AND root canal filling”

A pesquisa foi realizada entre fevereiro de 2024 e junho de 2024, em português, inglês e francês. Os critérios de seleção incluíram a disponibilidade de artigos de texto completo nestas línguas. Para além disso, foram consultados livros e revistas científicas disponíveis na biblioteca da Universidade Egas Moniz, em Lisboa.

2 Conceitos gerais e definição dos materiais biocerâmicos à base silicato de cálcio utilizados em Endodontia

2.1 Definição

Os biomateriais são definidos como materiais não tóxicos, não carcinogénicos, quimicamente inertes, estáveis e mecanicamente resistentes que interagem com sistemas biológicos para substituir ou restaurar a funcionalidade de tecidos traumatizados ou degenerados sem causar necrose ou irritação tecidual. Eles assumem várias formas, incluindo metais, polímeros ou cerâmicas (Washio et al., 2019).

As cerâmicas, uma categoria de biomateriais especificamente projetada para o setor médico e dentário, são chamadas de "biocerâmicas"(BC). As BC abrangem uma ampla gama de materiais, incluindo alumina, zircônia, vidro bioativo, hidroxiapatite, fosfatos de cálcio reabsorvíveis, ionoméricos de vidro e silicatos de cálcio. Apresentam capacidades de selamento e selamento aprimorado, bem como ação antibacteriana e antifúngica, tornando-os adequados para várias aplicações médicas, como ortopedia e medicina dentária, para restaurar a função de tecidos duros danificados. Dependendo da aplicação, as biocerâmicas podem interagir diretamente com os tecidos adjacentes, promovendo o crescimento ou regeneração tecidual, composição, mecanismo de endurecimento e consistência (KOMABAYASHI et al., 2020).

Uma das classificações mais comuns é baseada na sua interação com os tecidos circundantes (Dong & Xu, 2023) .

- **BC bioinertes:** não têm interação significativa com sistemas biológicos, como alumina e zircônia.
- **BC bioativas:** permitem interações interfaciais com tecidos biológicos, promovendo maior durabilidade. Isso inclui vidros bioativos, vitrocristais bioativos, hidroxiapatite e silicatos de cálcio.
- **BC biodegradáveis:** são solúveis ou reabsorvíveis, podendo ser substituídas ou incorporadas nos tecidos. Entre elas, encontram-se o fosfato tricálcico e vidros bioativos.

2.2 Histórico e cronologia de aparecimento

Nos anos noventa , os biomateriais cerâmicos foram introduzidos na Endodontia, representando um avanço significativo no campo dos materiais dentários. O primeiro material cerâmico bioativo utilizado em Endodontia foi o agregado de trióxido mineral (MTA), que é um cimento *Portland* que, por sua vez, consiste num material de construção patenteado para uso na medicina dentaria clínica. É uma mistura de silicato de cálcio, aluminatos tricálcicos, gesso e aluminoferrite tetracálcica, ao qual é adicionado óxido de bismuto como agente radiopacificante. Foi utilizado pela primeira vez em 1993 como material de preenchimento apical e, em 1997, após numerosos estudos pré-clínicos conclusivos, a Food and Drug Administration (FDA) autorizou a utilização do MTA em

humanos nos casos de cirurgia apical endodôntica, proteção pulpar e reparação de perfuração (Dong & Xu, 2023).

O primeiro produto comercial, ProRoot MTA®, foi lançado em 1999 pela Dentsply, inicialmente de cor cinza, mas melhorado posteriormente. O MTA branco, introduzido em 2002, reduziu o risco de descoloração dos dentes devido a uma concentração reduzida de óxidos de ferro, alumínio e magnésio.

No final dos anos 2000, surgiu uma nova geração de biocerâmicos, partilhando propriedades biológicas semelhantes às do MTA (incluindo atividade antibacteriana e baixa citotoxicidade) e superando as suas limitações iniciais. Produtos como o Biodentine®, o material de reparação radicular EndoSequence®, o BioAggregate® e as misturas enriquecidas com cálcio (CEM) foram amplamente adotados na prática clínica pelas suas características únicas, (tabela1), (Dong & Xu, 2023 ; Zafar & al., 2020).

A introdução do Biodentine® (Septodont, França) em 2009, por exemplo, como substituto dentário contendo silicatos dicálcicos e tricálcicos, despertou um interesse acrescido da comunidade dentária por estes biomateriais (An et al., 2024). Esta tendência também levou ao desenvolvimento no mercado de novas formulações de cimentos de obturação à base de silicatos de cálcio.

Tabela 1: Resumo das composições do cimento Portland, do MTA, do ProRoot MTA® (cinza), do ProRoot MTA® (Branco), do Biodentine®, e do CEM®. (Dong e Xu, 2023; Surya Raghavendra e al., 2017; Torabinejad M, 2014)

Biomaterial	Composição
Cimento Portland	<ul style="list-style-type: none"> - Silicato de cálcio, - Aluminato de cálcio, - Aluminoferrito de cálcio, - Sulfato de cálcio, - Óxido de cálcio, - Algumas impurezas metálicas devido às rochas das quais os componentes são extraídos.
MTA	<ul style="list-style-type: none"> - Cimento Portland, - Óxido de bismuto (Bi₂O₃), - Gesso (CaSO₄ x 2H₂O).
ProRoot MTA® (cinza)	<p>Pó:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Silicato bicálcico, silicato tricálcico, ` - Aluminato tricálcico, - Sulfato de cálcio, - Óxido de bismuto e aluminoferrito de cálcio. <p>Líquido :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Água estéril.
ProRoot MTA® (Branco)	<p>Pó:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Silicato bicálcico, silicato tricálcico, - Aluminato tricálcico, - Sulfato de cálcio, - Óxido de bismuto. <p>Líquido:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Água estéril.

<p>Biodentine®</p>	<p>Pó:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Silicato tricálcico, silicato dicálcico, - Carbonato de cálcio, - Óxido de cálcio, - Óxido de zircônio, - Óxidos de ferro. <p>Líquido:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Água, - Cloreto de cálcio, - Polímero hidrossolúvel.
<p>CEM®</p>	<p>Pó :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Óxido de cálcio, - Trióxido de enxofre, - Pentóxido de fósforo - Dióxido de silício - Pequenas quantidades de trióxido de alumínio - Óxido de sódio, óxido de magnésio e cloreto. <p>Líquido</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solução aquosa.

2.3 Classificação

2.3.1 Classificação segundo a indicação terapêutica

Os materiais biocerâmicos (MBC) utilizados na prática clínica evoluíram para além das simples misturas de cimento Portland e óxido de bismuto radiopacificante com água. Foram feitas modificações significativas nesses materiais, requerendo uma classificação de acordo com as suas indicações terapêuticas.

Essa classificação é útil aos profissionais de saúde oral, pois permite uma orientação de acordo com o tipo de tratamento que pretendem realizar. (Camilleri, 2020)

A base dessa classificação prende-se com as mudanças que o material pode sofrer variam de acordo com o ambiente específico. Existem três contextos distintos (Figura1) :

- **Intracoronários** : proteção pulpar e barreira para procedimentos endodônticos regenerativos ;
- **Intrarradiculares** : selamento do canal radicular e dos tampões apicais ;
- **Extrarradiculares** : preenchimento de ápices radiculares e materiais de reparo de perfurações.

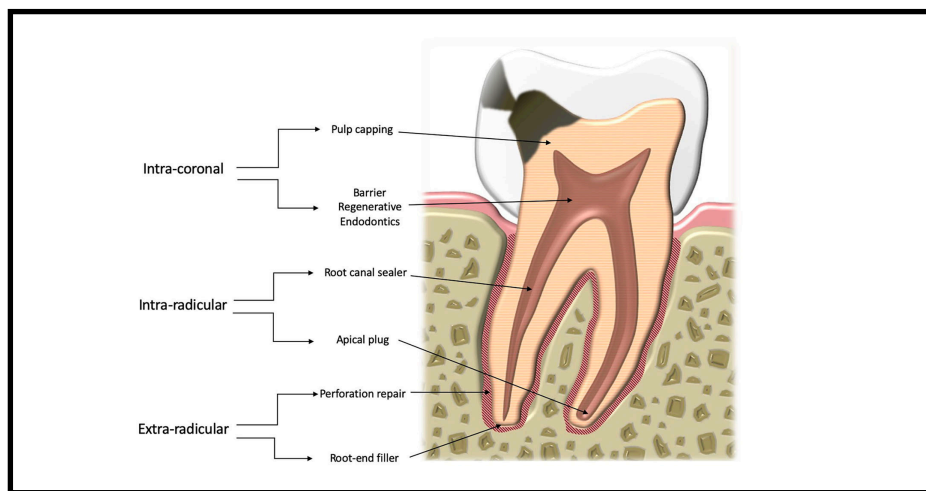


Figura 1 : esquema em corte transversal de um dente que ilustra as diferentes aplicações dos materiais biocerâmicos. (Adaptado de Drukteinis e Camilleri, 2021.)

2.3.2 Classificação segundo a composição química dos materiais

Uma classificação mais robusta é baseada na composição química do material. Segundo Drukteinis & Camilleri (2021), os MBC podem ser classificados em vários tipos com base na sua composição química:

- **Tipo 1:** inclui materiais à base de cimento Portland. Exemplos: o MTA ProRoot® e o cimento Portland não radiopacificado.
- **Tipo 2:** inclui cimentos à base de cimento Portland com aditivos destinados a melhorar características específicas.

Exemplo: MTA Angelus® com óxido de cálcio para uma liberação precoce de hidróxido de cálcio.

- **Tipo 3:** inclui cimentos nos quais a água é substituída por veículos alternativos. Exemplo: Endoseal®.
- **Tipo 4:** inclui materiais à base de silicato tricálcico misturados com água. Exemplo: Biodentine®.
- **Tipo 5:** inclui materiais à base de silicato tricálcico, frequentemente chamados de "materiais pré-misturados". Exemplo: TotalFill®.

2.3.3 Classificação por componente principal

Segundo Surya Raghavendra et al. (2017), os MBC utilizados em endodontia também podem ser classificados de acordo com o componente principal, em duas grandes categorias:

➤ **À base de silicato de cálcio :**

Cimento :

- Cimento Portland
- Biodentine® (Septodont, França)

Selante :

- Endo CPM Sealer® (EGO SRL, Buenos Aires, Argentina)
- MTA Fillapex® (Angelus, Brasil)
- BioRoot™RCS (Septodont, França)
- TechBiosealer ® (Profident, Kielce, Polónia)

➤ **À base de fosfatos de cálcio/tricálcio fosfato/hidroxiapatite :**

Mistura de silicatos de cálcio e fosfatos de cálcio.

- iRoot® BP, iRoot® BP Plus, iRoot® FS (Innovative Bioceramix Inc., Vancouver, Canadá)
- EndoSequence® BC Sealer™ (Brasseler, Savannah, GA, EUA)
- Total Fill® BC Sealer™ (FKG Dentaire SA, Suíça),
- BioAggregate® (Innovative Bioceramix Inc., Vancouver, Canadá)
- Ceramicrete® (Laboratório nacional de Argonne, Illinois, EUA).

2.4 Apresentação clínica

Os MBC usados em odontologia distinguem-se, não apenas pelas suas composições químicas variadas, mas também pela diversidade das suas apresentações, como ilustrado na Figura (2). Essa diversidade facilita a melhoria das técnicas de mistura e aplicação desses materiais em ambiente clínico.



Figura 2 : Os cimentos hidráulicos à base de silicato de cálcio são apresentados em diferentes formas clínicas: (A) ProRoot MTA está disponível em pó e líquido, (B) MM-MTA é fornecido em cápsula com um sistema de pistola, (C) Biodentine também está em cápsula, mas não requer pistola ou seringa, (D) MTA Flow, na forma de pó e líquido, é fornecido com uma seringa descartável para facilitar a administração, e finalmente (E) TotalFill BC está disponível em produtos pré-misturados em seringas. (Adaptado de Drukteinis & Camilleri, 2021.)

Para concluir, a utilização de BC na Medicina Dentária é particularmente interessante pela sua capacidade de adesão às estruturas dentárias, compatibilidade biológica e excelente impermeabilidade. O seu uso foi expandido para diversas intervenções, desde restaurações coronárias de cavidades até obturações ortógradas e retrógradas em endodontia, passando pela proteção pulpar e tratamento de perfurações radiculares (Figura 3). É crucial distinguir esses materiais biocerâmicos especificamente projetados para obturação do canal dos cimentos biocerâmicos de preenchimento endodôntico (G.Montero, 2018). Para evitar confusão, a literatura em inglês mostra claramente a diferença entre esses cimentos de obturação chamados "bioceramics sealer " e "bioceramic cement".

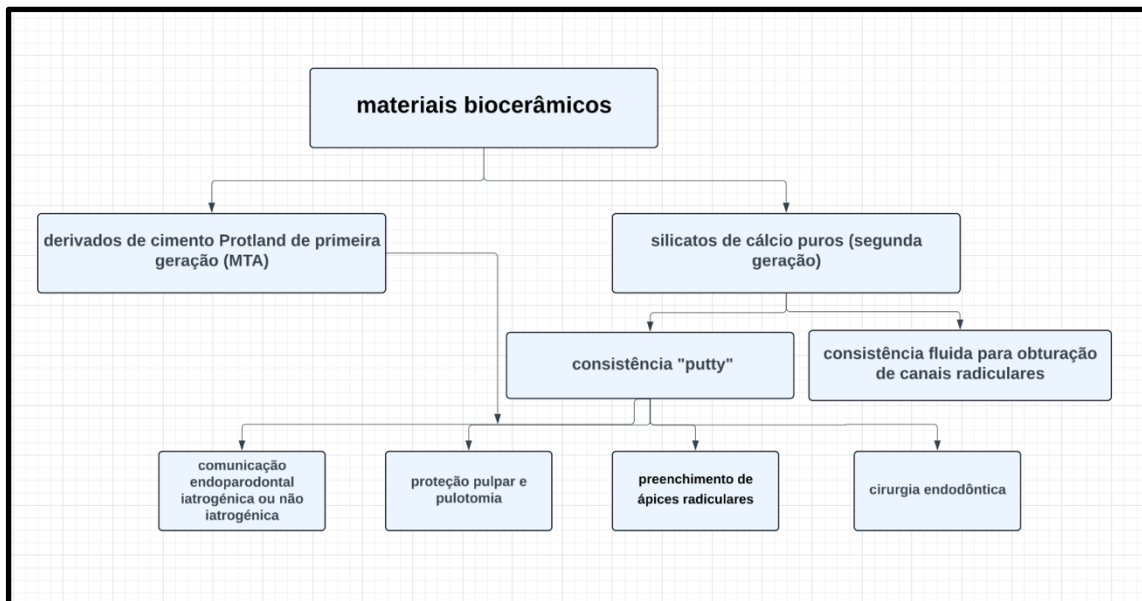


Figura 3 : Os materiais biocerâmicos e suas diferentes indicações terapêuticas. (Adaptado de G. Montero, 2018)



3 Materiais biocerâmicos para obturação de canais de última geração



3.1 Composição

Os materiais biocerâmicos para obturação de canais (MBCOCs), cuja composição varia de acordo com o fabricante, geralmente são compostos por silicatos de cálcio que incluem fases hidrofílicas de silicatos di-tri-tetra-calcícos e são isentos de quaisquer traços de metais. Os principais componentes incluem silicato e hidróxido de cálcio, bem como agentes radiopacificadores como óxido de zircônio, óxido de bismuto, óxido de tântalo e zirconato de bário, aos quais podem ser adicionados agentes espessantes e cargas. Em casos específicos, elementos adicionais podem estar presentes, como fosfatos de cálcio monobásicos, resina, povidona, cloretos de cálcio e água. Ao contrário dos materiais para obturação tradicionais, eles não contêm eugenol, permitindo assim uma restauração coronária composta na mesma sessão que o tratamento do canal radicular para selar o dente de forma rápida e hermética. Além disso, esses cimentos permitem a cimentação de espigões de fibra de vidro nos canais tratados, sem comprometer a sua força de adesão (Al-Haddad & Aziz, 2016).

Atualmente, distinguem-se seis principais cimentos de selamento "biocerâmicos", que são os mais estudados de acordo com o estudo de Lim et al. (2020), (Tabela 2).

Tabela 2: Composição e Apresentação Comercial dos principais cimentos para obturação dos canais à base de BC. (Aminoshariae e al., 2022; Küçükkaya Eren, 2023)

Nom Commercial	Laboratório	Composição e Apresentação Comercial
Endosequence®BC Sealer™	Brasseler USA	<ul style="list-style-type: none"> - Silicatos de cálcio - Silicatos di e tricálcicos - Fosfato de cálcio - Hidróxido de cálcio - Óxido de zircónio  <p>Figura 4 : Apresentação Comercial do Endosequence® BC Sealer™ (uma forma fluida pré-misturada e injetável). Retirada de : https://shop.brasselerusa.com/Product/5017560U0</p>
TotalFill®BC Sealer™	FKG Suíça	<ul style="list-style-type: none"> - Silicatos de cálcio - Silicatos di e tricálcicos - Fosfato de cálcio - Hidróxido de cálcio - Óxido de zircónio - Óxido de tântalo 

Nom Commercial	Laboratório	Composição e Apresentação Comercial
		<p>Figura 5: Apresentação Comercial do Totalfill ®BC sealer™ (uma forma fluida pré-misturada e injetável). Retirada de : https://www.fkg.ch/products/endodontics/obturation/totalfill</p>
<p>iRoot® SP</p>	<p>Innovative Bioceramix Canadá</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Silicatos de cálcio - Silicatos di e tricálcicos - Fosfato de cálcio - Hidróxido de cálcio - Óxido de zircônio <div style="text-align: center;">  </div> <p>Figura 6 : Apresentações Comerciais : IRoot® SP (uma forma fluida pré-misturada e injetável). Retirada de https://www.henryschein.com.hk/products/ibc-irsp4608</p>
<p>MTA Fillapex®</p>	<p>Angelus Brasil</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Derivado de MTA - Trióxido de bismuto - Resinas - Sílica - Pigmento <div style="text-align: center;">  </div> <p>Figura 7: Apresentação Comercial do MTA fillapex® (uma forma fluida pré-misturada e injetável). Retirada do</p>

Nom Commercial	Laboratório	Composição e Apresentação Comercial
		<p>https://angelus.ind.br/pt-br/produto/endodontia/cimentos-obturadores.</p>
<p>BioRoot RCSTTM</p>	<p>Septodont França</p>	<p>Pó:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Silicatos tricálcicos - Óxido de zircônio - Polímero hidrofílico (adesão) <p>Líquido:</p> <ul style="list-style-type: none"> - água e cloreto de cálcio <div data-bbox="879 801 1222 1061" data-label="Image"> </div> <p>Figura 8: Apresentação Comercial do Bioroot RCSTTM (uma forma "pó + líquido" para misturar). Retirada de : https://www.septodont-fr.ca/product/endodontie-bioroot-rs/.</p>
<p>ProRoot[®] ES canal sealer</p>	<p>Dentsply USA</p>	<p>Pó:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Silicatos di e tricálcicos - Óxido de bismuto - Sulfato de cálcio, Aluminato tricálcico (baixo) <p>Líquido :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Polímeros hidrossolúvei <div data-bbox="895 1720 1214 1883" data-label="Image"> </div>

Nom Commercial	Laboratório	Composição e Apresentação Comercial
		Figura 9: Apresentação Comercial do ProRoot® ES (uma forma "pó + líquido" para misturar). Retirada de https://www.dentsplysirona.com/en .

3.2 Formulação farmacêutica, reação de presa e características de aplicação

Em 2019, Donnermeyer et al desenvolveu uma classificação dos MBCOCs com base no seu modo de administração, Ele distinguiu-os em duas categorias:

- **Os materiais de "um componente "** : esses produtos têm uma forma fluida, pré-misturada e injetável (Endosequence® BC sealer™, Totalfill® BC sealer™, IRoot® SP e MTA Fillapex®).

- **Os materiais de "dois componentes"** : esses materiais são fornecidos na forma de líquido + pó para misturar (BioRoot RCS™, ProRoot® ES canal sealer).

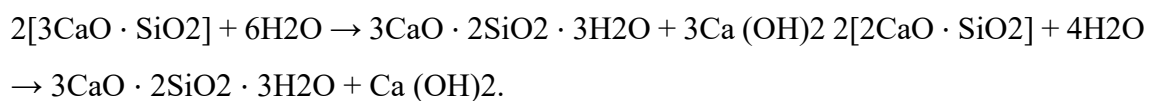
Os MBCOCs do primeiro grupo requerem uma fonte externa de água para iniciar sua reação de presa a partir dos túbulos dentinários, enquanto os materiais do segundo grupo são fornecidos com uma solução aquosa separada para misturar antes de sua aplicação no canal radicular. Em 2021, Zhekov & Stefanova propõem uma nova classificação dos MBCOCs baseada em dois critérios: a fonte de silicato de cálcio e a forma de administração (Tabela3) :

Tabela 3: classificação dos cimentos de selamento de acordo com a fonte de silicato de cálcio e a forma galênica (Zhekov & Stefanova, 2021)

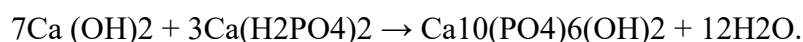
	Natural	Sintético
Pré-misturado (um único componente)	1. EndoSeal® MTA (Maruchi USA)	1. Endosequence® BC Sealer™ 2. iRoot® SP, 3. TotalFill® BC Sealer™
Não pré-misturado (duplo componente)	1. ProRoot® ES canal sealer 3. Endo-CPM-Sealer® 4. TechBioSealer Endo®	1. BioRoot RCS™

Ambos os tipos de materiais apresentam reações de presa idênticas, compostas por duas etapas distintas - hidratação e precipitação. (Zhekov & Stefanova, 2021). Nas formas pó/líquido, a hidratação é iniciada durante a preparação do selante, enquanto nas formas pré-misturadas prontas para uso, presume-se que a umidade do canal radicular forneça a água necessária para a hidratação do selante.

A primeira etapa é uma reação de hidratação, que pode ser de dois tipos diferentes (Sfeir et al., 2021):



A reação de hidratação é seguida pela reação do hidróxido de cálcio com o fosfato de cálcio, que precipita (segunda etapa) na forma de hidroxiapatite :



O mecanismo exato de ligação do MBCOC à dentina radicular é desconhecido; no entanto, os seguintes mecanismos têm sido sugeridos para os MBCOCs à base de silicato de cálcio (Al-Haddad & Aziz, 2016; Mangat et al., 2021):

- A difusão das partículas de selante através dos túbulos dentinários para formar ligações mecânicas.
- A reação entre o cálcio e o fosfato na presença da umidade da dentina, resultando na criação de cristais d'apatite com uma pré-formação de zona de infiltração mineral.
- A infiltração do conteúdo mineral do selante na dentina intertubular, promovendo a formação de uma zona de infiltração mineral. Este processo é seguido pela desnaturação das fibras de colágeno com um selante alcalino.

Para atingir os objetivos biológicos e mecânicos do método de Schilder em termos de obturação canalicular, é necessário preparar e irrigar o canal de acordo com as técnicas endodônticas padrão.

De acordo com as recomendações dos fabricantes, o MBCOC deve primeiro ser injetado no terço coronário do canal. Em seguida, vários instrumentos, como uma lima manual de 15/100mm de diâmetro (de acordo com as normas ISO), um cone de papel invertido, ou

um lântulo podem ser usados para espalhar o selante nas paredes do canal. Por fim, um cone principal é inserido com uma fina camada de selante até o ápice. Foi concluído que os métodos de aplicação do selante podem desempenhar um papel importante na capacidade de selamento e na penetrabilidade dos selantes nos túbulos canalares.

Embora cones de guta-percha padrão possam ser usados, algumas marcas oferecem conjuntos de cones pré-formados, bem como cones acessórios revestidos com nanopartículas de biocerâmica para permitir a ligação com o selante (Figura10), produzindo um bloco único dentro do espaço do canal para uma obturação ótima.(Drukteinis & Camilleri,2021).



Figura 10: Pontas EndoSequence e TotalFill BC, 150 Séries BC pontos e BC Pellets, da esquerda para a direita (Adaptado de Drukteinis & Camilleri, 2021).

3.3 Propriedades

As características biológicas e físicas dos MBCOC foram avaliadas com base nos critérios de qualidade estabelecidos por Grossman (Al-Haddad & Aziz, 2016). Esses critérios incluem:

- uma consistência adesiva que favorece uma ligação eficaz com as paredes do canal,
- um selamento total,
- uma visibilidade radiográfica assegurada pela radiopacidade,
- uma granulometria fina para uma fácil incorporação no líquido,
- ausência de contração durante a colocação,
- preservação da cor natural do dente,

- propriedades bacteriostáticas ou não favoráveis ao crescimento bacteriano,
- um tempo de presa controlado,
- insolubilidade nos fluidos teciduais,
- boa tolerância pelos tecidos periapicais,
- solubilidade em solventes usuais, se necessário remover o selamento do canal radicular.

3.3.1 Propriedades biológicas

3.3.1.1 Biocompatibilidade

A biocompatibilidade foi definida pela "Sociedade Europeia de Biomateriais" como a "capacidade de um material induzir uma resposta adequada do hospedeiro em uma aplicação específica" (Al-Haddad & Aziz, 2016).

Os MBCOCs desempenham um papel crucial nos tratamentos endodônticos, pois estão em contato direto com o ligamento periodontal e o osso no nível do ápice. No entanto, sua biocompatibilidade e citotoxicidade são aspectos essenciais a serem considerados para garantir o sucesso clínico dos tratamentos endodônticos (Drukteinis & Camilleri, 2021).

De acordo com a norma ISO 10993-5:2014, para que um material para obturação dos canais (MOC) seja considerado citocompatível, a sobrevivência celular em contato com esse material deve ser de pelo menos 70%. Vários estudos foram conduzidos para avaliar a citotoxicidade dos diferentes tipos de MBCOCs disponíveis no mercado.

O MTA Fillapex®: demonstrou uma citotoxicidade mais elevada, especialmente em concentrações mais altas, o que pode ser atribuído a componentes específicos como a resina salicilada (Figura 11) (Mestieri et al., 2020).

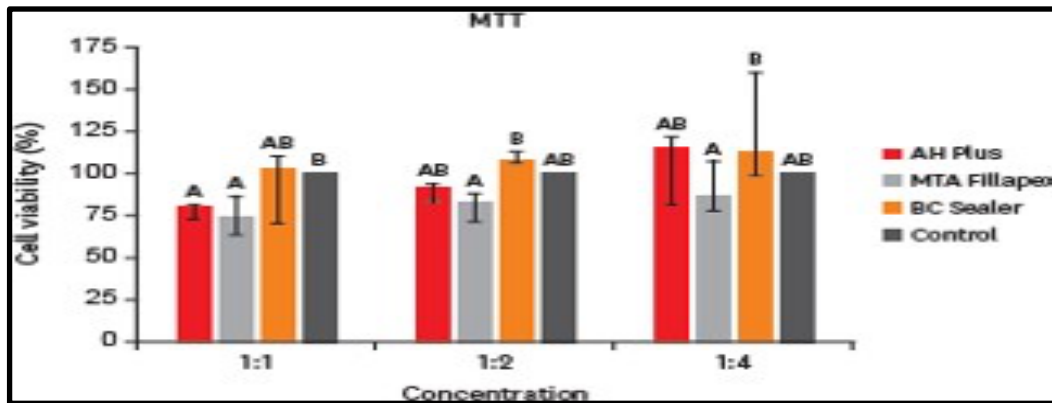


Figura 11 : Taxa de sobrevivência celular após contato direto por 24 horas com 3 cimentos de selamento, (adaptado de Mestieri et al., 2020).

Um estudo realizado por Eldeniz et al. (2016) revelaram que o MTA Fillapex® apresenta alta citotoxicidade inicial em células fibroblásticas e osteoblásticas, colocando-o entre os MBCOCs de nova geração com a menor porcentagem de células vivas. Esta situação pode ser atribuída à liberação de chumbo durante o processo de presa e à presença de resina salicilada em sua composição

Os resultados do estudo de M. M. Almeida et al. (2020) mostram que o TotalFill® BC Sealer™ apresenta efeitos citotóxicos mínimos (percentagem de células viáveis superior a 90%), demonstrando assim uma boa compatibilidade e um potencial citotóxico inferior ao do AH Plus® e do MTA Fillapex®.

Isso foi confirmado pelo estudo realizado por Sheela et al. (2023), que mostrou que, em concentrações mais baixas, o TotalFill® BC teve um impacto positivo na viabilidade celular (Figura12). As células também mantiveram sua morfologia normal do tipo fusiforme e produziram nódulos mineralizados em ambos os meios em algumas concentrações dos extratos.

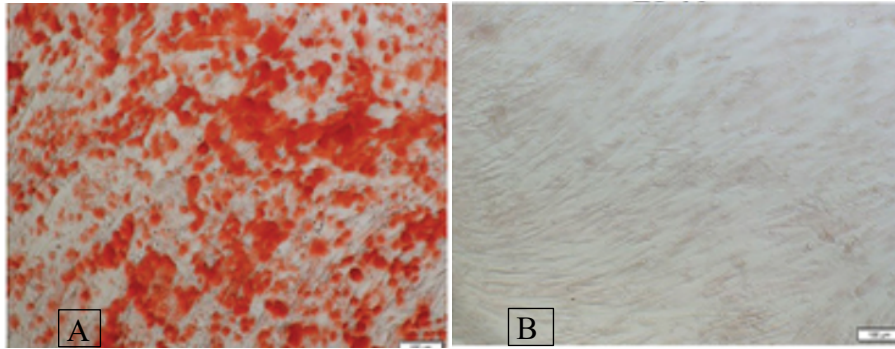


Figura 12 : A mineralização das células osteoblásticas humanas tratadas por 14 dias:(A) Os depósitos de cálcio de cor laranja, corados com Vermelho de Alizarina S, são visíveis nas células tratadas com o Selante TotalFill® BC . No entanto, as células AH Plus não apresentaram nódulos mineralizados (B). (Adaptado de Sheela et al 2023).

Apesar de variações nos resultados entre estudos, o iRoot®SP geralmente mostrou baixa citotoxicidade e boa biocompatibilidade com diferentes células (Cardinali & Camilleri, 2023).

De acordo com Zhang et al. (2010), em laboratório, quando em contato com fibroblastos humanos ou murinos, o iRoot SP ® mostrou citotoxicidade moderada com uma taxa de células viáveis entre 40 e 60% quando recém-misturado ou logo após o seu endurecimento.

No entanto, essa citotoxicidade diminui gradualmente para se tornar nula sete dias após o endurecimento completo do material. É importante notar que essa citotoxicidade varia consideravelmente dependendo da concentração usada.

de Almeida-Junior et al. (2024) observaram que o BioRoot RCS™ preserva a viabilidade celular. Defacto, o estudo de Jung et al., (2018) revelou que em todas as condições testadas que o BioRoot™ RCS demonstrou uma citotoxicidade significativamente menor do que outros selantes, como o MTA-Fillapex®, o PulpCanalSealer™ e o AH Plus® (Figura 13).

Em resumo, de acordo com os estudos, o BioRoot™ RCS parece ser menos citotóxico em comparação com outros selantes à base de silicato de cálcio, confirmando assim sua biocompatibilidade.

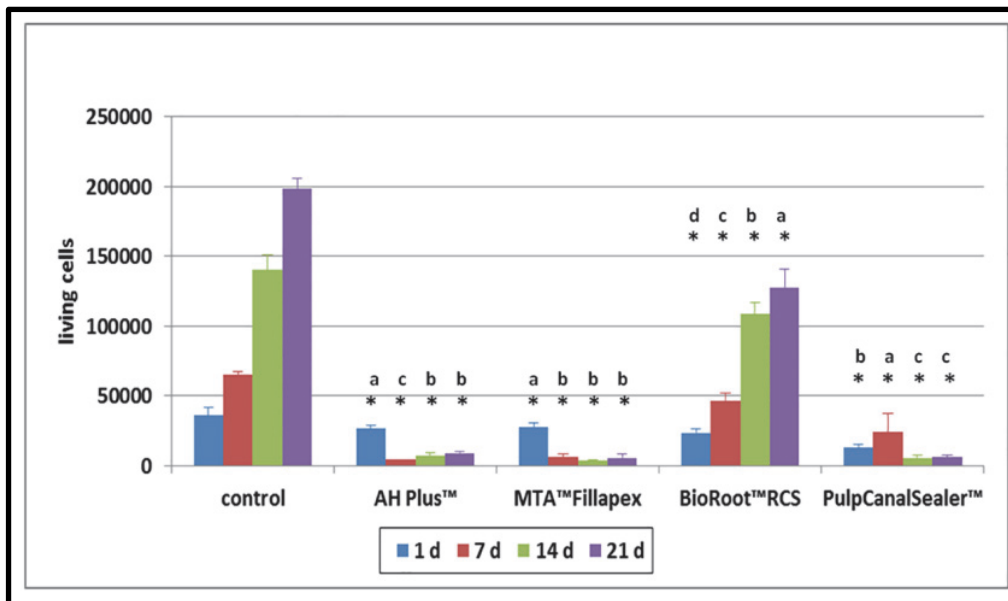


Figura 13: Diagrama de quantidade de osteoblastos humanos após contato com diferentes cimentos endodônticos. Os asteriscos indicam diferenças estatisticamente significativas em relação ao grupo controle. (Adaptado Jung e al., 2018)

Para resumir, a citotoxicidade dos cimentos seladores biocerâmicos depende de sua composição química específica. Materiais que liberam níveis mais altos de cálcio foram associados a níveis mais elevados de citotoxicidade.

Os MBCOCs devem sua biocompatibilidade à presença de fosfato de cálcio, promovendo a regeneração óssea e tornando esses materiais geralmente seguros mesmo em casos de extravasamento além do ápice.

Embora alguns MBCBCs possam apresentar citotoxicidade *in vitro*, isso nem sempre se traduz em efeitos clínicos significativos, como é o caso dos cimentos à base de óxido de zinco e eugenol. Testes adicionais são necessários para avaliar sua compatibilidade biológica (Al-Haddad & Aziz, 2016).

Em conclusão, a presença de fosfato de cálcio parece desempenhar um papel crucial na compatibilidade global dos MBCBCs, mas ensaios clínicos adicionais são necessários para confirmar sua tolerância biológica e segurança em tratamentos endodônticos.

3.3.1.2 Bioatividade e Estimulação da Biomineralização

A bioatividade, definida como a capacidade de uma substância ou material para induzir uma resposta metabólica ou fisiológica num organismo vivo, pode ser estudada tanto in

vivo como *in vitro* (Mariod & Tahir, 2022). Os materiais bioativos, essenciais para promover a cura, a reparação e a manutenção da vitalidade dos sistemas biológicos, incluem agora aqueles capazes de promover seletivamente a formação de hidroxiapatite óssea (Pooja Chandak et al., 2020).

Em medicina dentária, a bioatividade de um material refere-se à sua capacidade de hidrolisar e produzir hidróxido de cálcio, o que contribui para a formação de uma camada interfacial e para o desenvolvimento de uma camada de apatite. O índice de atividade ou bioatividade mede a taxa de regeneração do osso dentário e o nível de formação de apatite. A formação da ponte de dentina é estimulada pelo aumento da atividade dos pirofosfatos, aumentada pela libertação de iões de cálcio.

Os testes de bioatividade visam avaliar a capacidade de diferentes materiais para induzir a formação de apatite e a mineralização, com base na sua composição e resistência. A fosfatase alcalina e o líquido corporal simulador são os indicadores quantitativos mais utilizados para medir a mineralização (Maru et al., 2021).

O BioRoot™ RCS mostrou uma capacidade de induzir a secreção de fatores de crescimento angiogénicos e osteogénicos em fibroblastos do ligamento periodontal (Camps et al., 2015). De acordo com Camilleri et al. (2017), o BioRoot™ RCS interage com a dentina ao longo da parede do canal radicular e forma uma camada híbrida ao longo da dentina, que é rica em minerais (Figura 14).

A ligação do BioRoot™ RCS é supostamente de natureza química, ao contrário das etiquetas de selamento relacionadas para os selantes à base de resina.

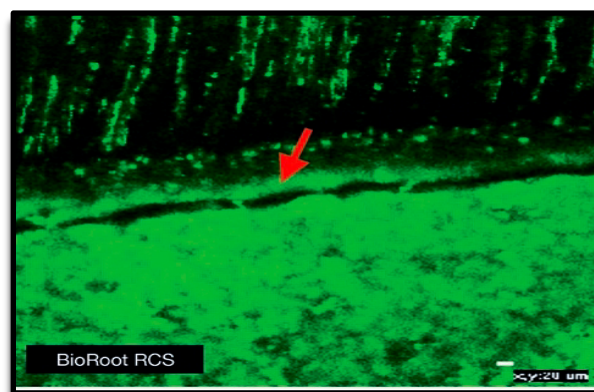


Figura 14: Características interfaciais para o BioRoot RCS® mostrando uma camada rica em minerais na interface (marcada por uma seta) e etiquetas de selamento. (Adaptado de Camilleri e al.2017)

O Endosequence® BC Sealer™, em estudo, libera íons de cálcio, fosfato e silicato promovendo a formação de apatite (Mann et al., 2022).

A investigação de W. Zhang et al., (2010) destaca a bioatividade favorável do iRoot SP como selante de canais radiculares. O estudo revela que o iRoot® SP promove a expressão de genes da matriz envolvidos na mineralização, tais como a osteocalcina e a osteopontina, dois marcadores essenciais para a formação e regeneração óssea. Esta propriedade bioativa é crucial, pois sugere que o iRoot® SP pode não só atuar como uma barreira física, mas também apoiar ativamente a cicatrização e a reconstrução dos tecidos peri-radiculares. destaca a bioatividade favorável do iRoot® SP como selante de canais radiculares.

De acordo com o estudo realizado por Elsayed et al (2021), o TotalFill® BC, em comparação com o MTA Fillapex®, induziu uma formação de apatite mais precoce e significativa, que se intensificou com o tempo. Essas características podem indicar uma eficácia superior de selamento biológico. Além disso, a apatite na superfície do selante TotalFill® BC apresentava uma concentração de cálcio mais alta e uma relação Ca/P elevada e fatores que podem favorecer o depósito de novo tecido ósseo.

O estudo de L. H. Almeida et al. (2019) revela um problema do fillapex MTA®: o seu baixo teor de MTA, ao contrário da resina, resulta numa capacidade limitada de libertação de íons de cálcio, o que prejudica a sua bioatividade.

Para solucionar esse problema, Almeida sugere a adição de aluminato de cálcio. Esta incorporação promove a formação de hidratos de aluminato e hidróxido de alumínio, mantendo um pH ótimo. Isto leva à formação de uma fase de apatite carbonatada, que é essencial para melhorar as propriedades bioativas do material.

Em conclusão, os estudos visuais e celulares demonstraram a capacidade promissora dos MBCOCs para promover a biomineralização. No entanto, é importante reconhecer que podem ocorrer variações, dependendo da composição específica do material e das condições experimentais. estes pesquisas fornecem uma atualização dos dados disponíveis sobre a bioatividade destes cimentos, que pode orientar os investigadores para estudos mais específicos em seres humanos. Com a continuação desta investigação, será possível chegar a um consenso geral sobre a eficácia dos diferentes materiais de obturação radicular disponíveis no mercado, ajudando assim a melhorar a prática clínica e os resultados dos pacientes.

3.3.1.3 Ação antibacteriana

O termo "antibacteriano" é utilizado para descrever substâncias que atuam contra as bactérias, matando-as ou limitando seu crescimento. No campo da endodontia, onde os tratamentos visam eliminar as infecções bacterianas dos canais radiculares, o uso de MOC com propriedades antimicrobianas é crucial para prevenir reinfecções (Al-Haddad & Aziz, 2016).

Embora os procedimentos padrão, como a instrumentação do canal radicular e a irrigação, reduzam a carga bacteriana, os micro-organismos podem persistir nos túbulos dentinários. Daí a importância de selá-los com materiais MBCOCs com ação antimicrobiana.

De fato, esses cimentos vão aprisionar os micro-organismos residuais, privá-los de qualquer aporte e neutralizá-los (Seron et al., 2024).

Os MBCOCs, são testados quanto à sua capacidade de combater essas bactérias persistentes. Entre eles, *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) é frequentemente usado como indicador da eficácia antibacteriana dos cimentos (Sokolonski et al., 2023). É bem conhecido que *E. faecalis* não pode sobreviver em um ambiente alcalino com um pH de 11, o que sugere que o pH pode ser um indicador-chave da atividade antimicrobiana de um material. Testes de difusão e contato direto são comumente usados para avaliar a eficácia antibacteriana dos materiais, e estudos têm mostrado que alguns cimentos apresentam atividade significativa contra *E. faecalis* (Al-Haddad & Aziz, 2016).

O iRoot® SP , demonstrou uma forte atividade antibacteriana contra *E. faecalis* quando fresco, com um pH elevado de 11,5. No entanto, essa atividade diminui rapidamente após o endurecimento do material (H. Zhang et al., 2009),(figura 15).

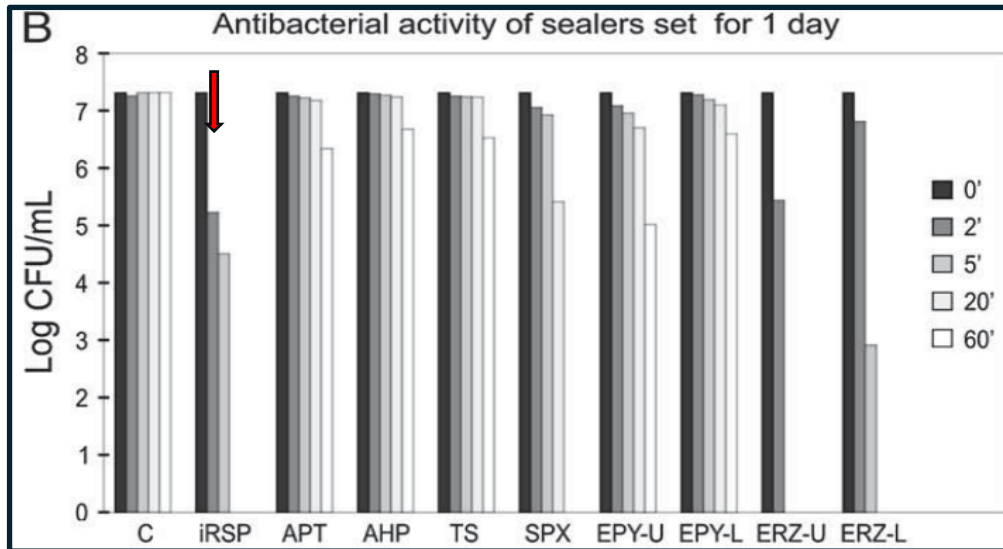


Figura 15: Diagrama de sobrevivência de *E. faecalis* após contato direto com cada cimento em 2, 5, 20 e 60 minutos após 24 horas de fixação dos cimentos : C (controle), iRSP (iRootSP®), APT (Apexit Plus®), AHP (AH Plus®), TS (TubliSeal®), SPX (Sealapex®).

O EndoSequence® BC Sealer™ demonstrou uma eficácia antimicrobiana contínua contra *E. faecalis*, mesmo após 30 dias (Z. Wang et al., 2021).

O TotalFill®BC foi eficaz contra os biofilmes de *E. faecalis* na dentina e demonstrou propriedades antimicrobianas eficazes contra biofilmes endodônticos.

um efeito antibacteriano mais duradouro sobre as 4 cepas bacterianas, *E. faecalis*, *Streptococcus mutans*, *Streptococcus epidermidis* e *Streptococcus aureus*, do TotalFill® BC Sealer™ em comparação com o AH Plus ® foi pelo estudo de Kapralos et al., (2018), (Figura 16).

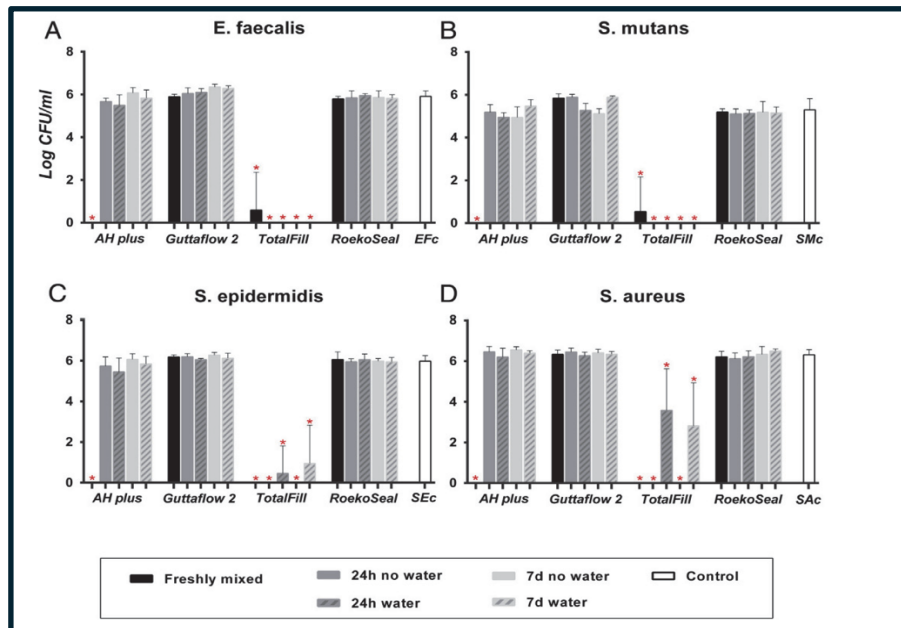


Figura 16: Viabilidade de (A) *E. Faecalis*, (B) *Streptococcus Mutans*, (C) *Streptococcus Epidermidis* e (D) *Streptococcus Aureus* após contato direto de uma hora com AH Plus®, Guttaflow 2®, TotalFill® e RoekoSeal® : Os asteriscos vermelhos indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos e o grupo controle para cada bactéria. (Adaptado de Kapralos e al., 2018)

O Bioroot™ RCS demonstrou melhores propriedades antibacterianas, mesmo após um período de secagem de 72 horas, mantendo um ambiente alcalino elevado por um período prolongado (Figura 17), (Sokolonski et al., 2023).

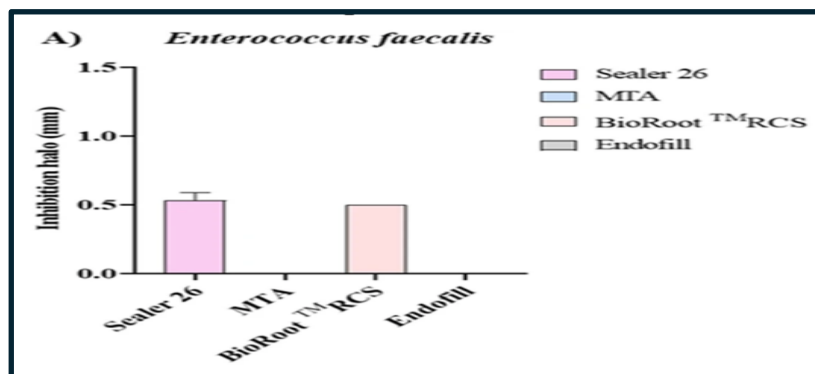


Figura 17: Inibição do crescimento de *E. faecalis* após contato direto com diferentes selantes endodônticos: Sealer 26, MTA, Bioroot™RCS, Endofill. (Adaptado de Sokolonski e al., 2023).

O estudo de Jafari et al.(2016) revelou que o efeito antimicrobiano do selante MTA Fillapex® não foi influenciado pelo tempo contra *E. faecalis*. Além disso, o estudo de Faria-Júnior et al. (2013) demonstrou que o MTA-Fillapex® preservou seu efeito antimicrobiano sobre o biofilme bacteriano, superando assim o efeito do AH Plus®.

No entanto, estes resultados divergem dos de Morgental et al. (2011), que observaram uma perda de efeito antibacteriano após a polimerização do MTA Fillapex®. A resina liberada pelo MTA Fillapex® pode ser responsável pela destruição temporária do *E. Faecalis*.

Resumidamente, os MBCOCs à base de silicato de cálcio apresentam atividade antibacteriana variável contra *E. faecalis*, com desempenhos que podem ser influenciados por vários fatores como pH, composição e tempo após a presa do material. De fato, a eficácia antimicrobiana pode variar ao longo do tempo para diferentes produtos, com alguns mantendo seu poder antibacteriano por um período prolongado devido à liberação contínua de íons minerais (Sokolonski et al., 2023 ; Z. Wang et al., 2021).

3.3.1.4 Ação antifúngica

Embora muitos estudos tenham examinado as propriedades antimicrobianas dos cimentos biocerâmicos, sua eficácia antifúngica permanece pouco documentada. O *Candida albicans* é um micro-organismo comum que pode se tornar patogênico na cavidade oral. Ele está presente em cerca de 21% das infecções dos canais radiculares e pode ser um fator causal de lesões periapicais persistentes, especialmente em casos de abscessos apicais agudo (BAUMGARTNER et al., 2000).

Um estudo recente realizado por Singh et al. (2020) revelou uma atividade antifúngica limitada do MTA Fillapex® contra o *Candida Albicans*, em comparação com cimentos à base de óxido de zinco e eugenol (Figura 18).

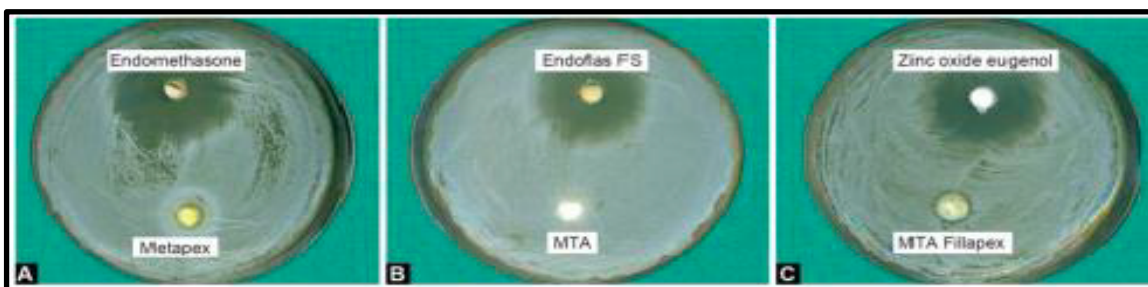


Figura 18 : Zona de inibição de *Candida albicans* para vários cimentos. (Adaptado de Singh e al., 2020)

Além disso, outro estudo realizado por Kwak e al. (2023) sobre o EndoSequence BC Sealer® demonstrou uma eficácia antifúngica inferior à do AH Plus® contra o *Candida Albicans*.

3.3.2 Propriedades físico-químicas

A norma ISO 6876:2012, intitulada "Materiais de obturação de canais radiculares", estabelece os critérios e procedimentos de avaliação dos MOC durante procedimentos endodônticos, quer endureçam com ou sem exposição à água. Ela abrange os aspectos técnicos dos materiais, incluindo suas propriedades físicas e químicas, tais como: estanqueidade, solubilidade, variação dimensional, capacidade de serem detectados radiograficamente e tempo de manipulação (Aminoshariae et al., 2022).

3.3.2.1 A molhabilidade / O fluxo

O fluxo dos MOC mede sua capacidade de penetrar nos canais acessórios e preencher os espaços entre a guta-percha e as paredes dentinárias. Um fluxo adequado permite um selamento apropriado das irregularidades do canal, enquanto um fluxo elevado pode resultar em extrusão, causando possíveis danos aos tecidos periapicais que exigem uma biocompatibilidade mais alta (Kwak et al., 2023).

Quando testados de acordo com as normas ISO 6876, os MOC devem apresentar um fluxo superior a 17 milímetros (Souza et al., 2023)

Os parâmetros conhecidos que afetam essa característica incluem, entre outros, o tamanho das partículas (a molhabilidade aumenta com a diminuição do tamanho das partículas), a temperatura e a duração da preparação (Mann et al., 2022).

Kwak et al. (2023) compararam o AH Plus® BC sealer, o EndoSequence® BC sealer™, TotalFill® BC sealer™ e o Bio-C® sealer com o selante à base de resina epóxi AH Plus®. Eles observaram que todos os selantes apresentavam uma taxa de fluxo conforme a norma ISO 6876, com AH Plus® BC sealer tendo a maior fluidez e AH Plus® a menor. O tamanho nano das partículas de silicato de cálcio e zircônio foi associado a uma melhor fluidez, enquanto o alto teor de óxido de zircônio do AH Plus BC® pode ter contribuído para sua hidrofobicidade e melhor fluidez.

Da mesma forma, em um estudo realizado por Zordan-Bronzel et al. (2021), os selantes avaliados, incluindo o Bio-C® Sealer, o TotalFill® BC Sealer™ e o AH Plus®, todos apresentaram um fluxo conforme a norma ISO 6876. No entanto, o Bio-C Sealer® mostrou o fluxo mais elevado.

Segundo o estudo de Souza et al. (2023) sobre o EndoSequence® BC Sealer™ e o AH Plus Bioceramic®, ambos os selantes testados atenderam às normas ISO 6876 em termos de fluxo, (Figura 19).

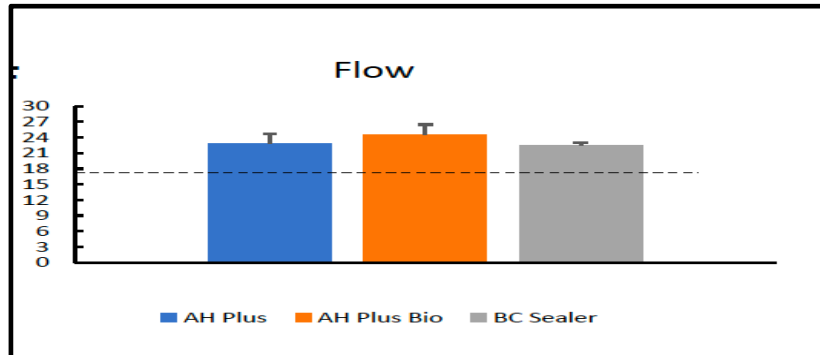


Figura 19: Diagrama dos valores de fluidez (em mm) de cada cimento endodôntico : AH Plus® Bioceramic sealer, AH Plus® e EndoSequence® BC Sealer™. (Adapto de Souza e al., 2023).

Para o Endosequence® BC sealer™, a taxa de fluxo foi relatada de forma variada, com um valor de 18,45 mm +/- 1,31 no estudo de J. K. Lee et al. (2017),(figura 20), enquanto um valor de 23,1 +/- 0,69 foi observado no estudo de Zhou et al. (2013).

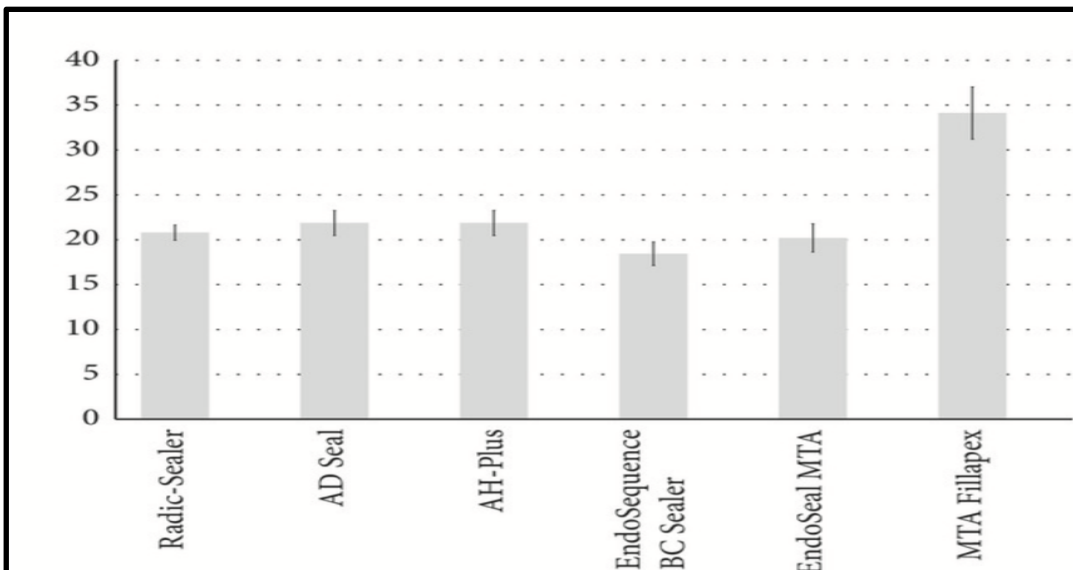


Figura 20 : As medições de fluidez (em mm) de diferentes selantes endodônticos: O Endosequence® BC™ sealer se destaca com o valor mais baixo de 18,45 +/- 1,31. (Adaptado de J. K. Lee e al., 2017)

Os estudos conduzidos por M. M. Almeida et al. (2020) e Zhou et al. (2013) também demonstraram que o fluxo de todos os selantes testados atendia aos requisitos mínimos da ISO 6876/2001, com um fluxo maior para o MTA Fillapex® (24,9+/-0,54) e menor para o AH Plus® (21,2+/-0,27), (Figura 21). Esses resultados foram atribuídos a diferenças na composição dos selantes e no tamanho das partículas dos selantes.

	BC sealer	MTA Fillapex	AH Plus	ThermaSeal	PCS	GuttaFlow
Flow (mm)	23.1 ± 0.69	24.9 ± 0.54	21.2 ± 0.27	21.3 ± 0.47	23.1 ± 1.21	20.5 ± 0.32
Film thickness (µm)	22 ± 4.56	23.92 ± 7.05	16.07 ± 4.5	16.6 ± 5.26	13.35 ± 2.8	15.67 ± 1.4
Working time (min)	>1440	45 ± 15	240 ± 40	300 ± 40	453 ± 31	15 ± 5
Setting time (h)	2.7 ± 0.3	2.5 ± 0.3	11.5 ± 1.5	23.0 ± 1.5	26.3 ± 2.5	0.7 ± 0.1
Solubility* (%)	2.9 ± 0.5	1.10 ± 0.15	0.06 ± 0.04	0.0015 ± 0.07	0.07 ± 0.03	0.02 ± 0.001
Dimensional change [†] (%)	0.087 ± 0.04	-0.67 ± 0.01	-0.034 ± 0.01	0.04 ± 0.02	-0.86 ± 0.03	0.037 ± 0.02

*Solubility = (removed mass of sample)/(original mass of sample) × 100.
[†]Dimensional change: minus means shrinkage.

Figura 21: resultados de estudo sobre as características físicas de cinco selantes endodônticos : Os fluxos foram classificados em ordem crescente da seguinte forma: GuttaFlow®, AH Plus®, ThermaSeal®, PCS, BC Sealer®, MTA Fillapex®.(Adaptado de Zhou e al., 2013)

O BioRoot RCS® foi observado por (Khalil et al., 2016) como excedendo especificações ISO (16mm+/- 1.6), enquanto permanecem eficazes devido à sua bioatividade e capacidade de se ligar à dentina.

O IRoot® SP geralmente demonstrou excelente molhabilidade e fluidez, como revelado pelo estudo de W. Zhang et al. (2009) . Este último destacou um ângulo de contato muito menor do IRoot® SP em comparação com outros cimentos endodônticos testados, indicando uma forte capacidade de espalhamento sobre a dentina e uma boa interação com a humidade dentinária.

3.3.2.2 Viscosidade

A viscosidade pode ser definida como a resistência ao fluxo de um fluido quando submetido a uma tensão. É crucial para avaliar as propriedades de fluxo dos MOC, o que é essencial para garantir uma obturação bem-sucedida dos canais radiculares. Diferentes métodos podem ser usados para medir a viscosidade, dependendo das necessidades específicas de cada material (Kaliappan S. et al., 2022).

Por exemplo, Zhou et al. (2013) estudaram a viscosidade de diferentes MOC em diferentes velocidades de injeção usando um viscosímetro capilar com uma seringa para simular os canais radiculares.

Seus resultados mostraram que a viscosidade dos cimentos aumentava quando a velocidade de injeção diminuía e que os cimentos à base de silicato de cálcio, como o Endosequence® BC Sealer™ e o MTA Fillapex®, apresentavam viscosidades elevadas, com comportamento pseudoplástico. Um fluido pseudoplástico tem sua viscosidade diminuída quando a taxa de cisalhamento aumenta, facilitando assim o seu fluxo durante a compactação, por exemplo, De acordo com os dados apresentados no gráfico da figura 22, os MBCOC à base de silicato de cálcio, nomeadamente o Endosequence® BC Sealer™ e o MTA Fillapex®, apresentam, respectivamente, a segunda e a terceira viscosidade mais elevada entre os cimentos testados. Eles são superados em termos de viscosidade apenas pelo Pulp Canal Sealer®, que é um cimento à base de óxido de zinco eugenol.

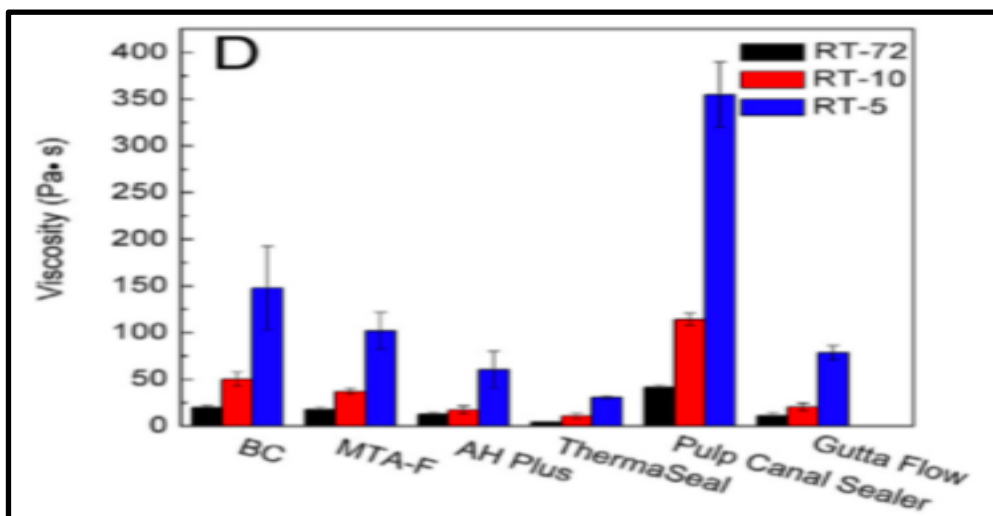


Figura 22 : Viscosidade dos diferentes selantes endodônticos : Testes realizados em diferentes velocidades de injeção (72 mm/min, 10 mm/min, 5 mm/min) a uma temperatura de 23°C ± 2°C. (Adaptado de Zhou e al., 2013)

O estudo de Chen et al. (2020) sobre o EndoSequence®BC Sealer HiFlow™ e o EndoSequence® BC Sealer™ enfatizou o impacto da temperatura na viscosidade dos selantes, tanto em temperatura ambiente quanto em temperatura corporal.

Os resultados revelaram uma dependência da viscosidade com a temperatura na faixa estudada.

Uma observação interessante foi que a viscosidade de ambos os tipos de selante diminuiu, indicando um aumento no fluxo, de 21°C a 100°C, antes de atingir um máximo a 150°C. As diferenças nos resultados entre a temperatura ambiente e 100°C poderiam ser atribuídas a variações metodológicas (Figura 23).

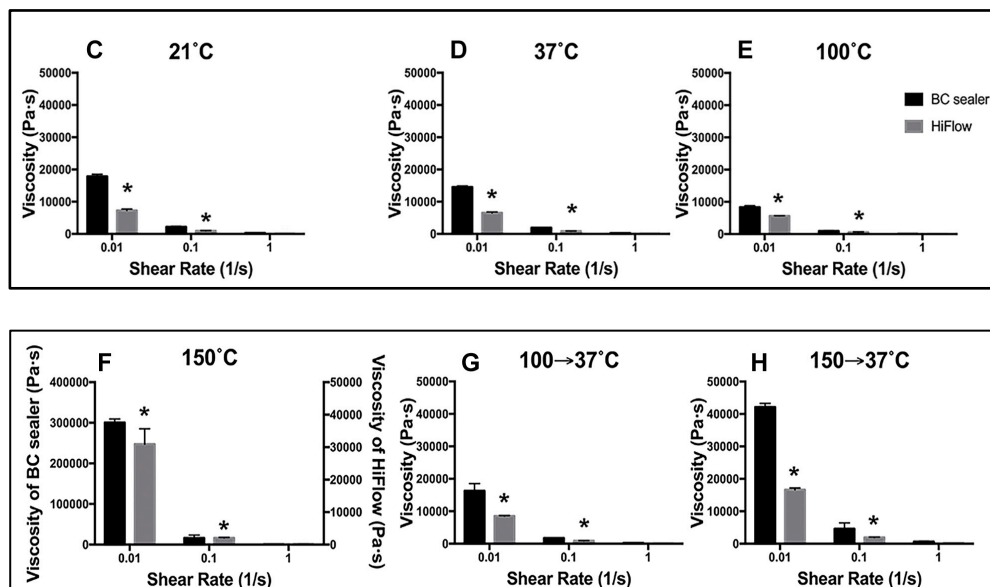


Figura 23 : A viscosidade em diferentes condições de temperatura para os selantes o EndoSequence®BC Sealer HiFlow™ e o EndoSequence® BC Sealer™ : a viscosidade desses selantes sob diferentes temperaturas, incluindo 21°C, 37°C, 100°C, 150°C, bem como variações de temperatura, como 100°C seguido por 37°C e 150°C seguido por 37°C. (Adaptado de Chen e al., 2020)

Lacey et al. (2005) também destacaram que a viscosidade dos MOC dependia da taxa de fluxo volumétrico, da relação pó/líquido da mistura, bem como da presença de detritos dentinários em situações clínicas. No entanto, ainda há poucas informações sobre a penetração dos MBCOC nos canais laterais, embora estudos tenham mostrado resultados promissores quanto à capacidade de obturação.

Em resumo, a viscosidade dos MBCOCs pode variar dependendo de vários fatores clínicos e das propriedades específicas de cada material, mas desempenha um papel crucial no sucesso da obturação dos canais radiculares.

3.3.2.3 A adesão : Resistência à deslocamento

A adesão de MOC de canal é definida como sua capacidade de se ligar à dentina e de unir os cones de guta-percha entre si e à dentina. Portanto, a capacidade de selamento de um MOC é avaliada pela força de sua ligação à dentina e aos cones de obturação (Al-Haddad & Aziz, 2016).

Essa força de adesão foi avaliada usando, entre outros, testes de resistência à deslocação por empurrão ou "push-out test".

Este teste "push-out" é fácil de reproduzir e interpretar e fornece uma avaliação realista da força de adesão à dentina, mesmo em níveis baixos .

Estudos laboratoriais encontraram valores mais elevados de resistência testes de resistência à deslocação por empurrão para o AH Plus® em comparação com o MTA Fillapex®, TotalFill® BC Sealer™ e BioRoot™ RCS. Para o iRoot SP®, a sua adesão à dentina demonstrou ser superior à do AH Plus® (Sfeir et al., 2021).

Esta força de ligação desses cimentos de selamento é explicada pela sua composição em silicato de cálcio, que utiliza, como mencionado anteriormente, a umidade naturalmente presente nos túbulos dentinários para sua reação de presa. Apesar da falta considerável de informações na literatura sobre a capacidade de ligação a longo prazo e da ausência de acompanhamento clínico, vários estudos in vitro determinaram outros fatores que possivelmente modificam essa força de adesão:

- Nagas et al. (2012) demonstraram que o IRoot SP® tinha uma adesão à dentina radicular independentemente das condições de umidade, com alta umidade aumentando obviamente essa adesão e que o MTA Fillapex ® apresenta a menor adesão dos cimentos testados.
- De acordo com Wanees Amin et al. (2012), o uso prévio de hidróxido de cálcio no canal também aumenta a adesão do IRoot SP à dentina e não tem efeito na adesão dentinária dos cimentos contendo resina AH Plus® e MTA Fillapex®.

Este aumento de adesão é explicado pelas interações químicas entre o hidróxido de cálcio colocado no canal e o IRoot® SP que o contém.

- Shakouie et al. (2017) estudaram a resistência à deslocação do MTA Fillapex® e demonstraram que este tem uma força de ligação menor do que o cimento resinoso

testado, independentemente do medicamento intracanal utilizado previamente (hidróxido de cálcio, pasta antibiótica e gel de clorexidina).

De acordo com todos os estudos sobre o assunto, a força de adesão dos MBCOCs depende, portanto: (Nagas et al., 2012 ; Shokouhinejad et al., 2013 ; Wanees Amin et al., 2012).

- Do grau de humidade
- Do uso prévio de hidróxido de cálcio,
- Da composição básica do material cimento de selamento contendo resina (como o MTA Fillapex ®) ou cimento à base de silicato de cálcio sem resinas. Essa força de adesão também dependeria da presença de um meio rico em fosfato. Por outro lado, não depende da presença ou ausência de lama dentinária e do método de irrigação utilizado.

Em conclusão, os novos MBCOCs, exceto o MTA Fillapex ®, apresentam uma força de ligação superior à de outros cimentos endodônticos existentes e quase idêntica à do cimento resinoso AH Plus®. Esta ligação é uma verdadeira ligação físico-química à dentina, devido à composição em silicato de cálcio desses cimentos, e pode ser modificada por diferentes fatores.

3.3.2.4 Selamento: ausência de microinfiltração

A estanqueidade do selante endodôntico é definida como sua capacidade de aderir à dentina do canal radicular e promover a adesão dos cones de guta-percha entre si e à dentina. Vários métodos foram propostos para avaliar a capacidade de estanqueidade: penetração de corante, técnicas de filtração de fluido, radioisótopos, análise por microscopia eletrônica de varrimento (MEV), testes de infiltração eletroquímica,, penetração de glicose e teste de penetração bacteriana (Xuereb et al., 2015).

Sobre essa propriedade, a literatura relata alguns estudos, mas parece haver uma falta de concordância nas conclusões dos diferentes estudos citados sobre a capacidade de estanqueidade dos MBCOCs. A Segue um resumo das principais conclusões retiradas dos estudos mencionados:

- Asawaworarit et al., (2020) utilizaram a método de MEV em todos os períodos de teste, e o EndoSequence® BC Sealer apresentou uma melhor estanqueidade do

que o AH Plus®, (Figura 24). Também foi observado que sua estanqueidade é melhor após 4 semanas do que após 24 horas após a aplicação. De acordo com esses autores, o MOC à base de silicato de cálcio tem uma melhor capacidade de selagem a longo prazo do que o AH Plus®. (Tabela 4).

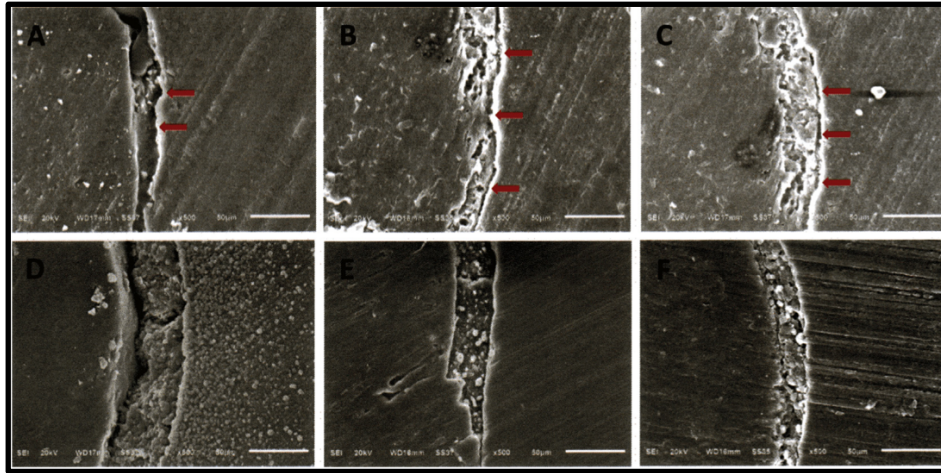


Figura 24: Comparação da estanqueidade dos canais radiculares obturados com AH Plus® e EndoSequence® BC Sealer™ em intervalos de 24 horas, 7 dias e 4 semanas: Com o AH Plus®, são observados espaços interfaciais, enquanto o EndoSequence® BC Sealer™ mostra uma melhor ligação química com a parede do canal devido à formação de hidroxiapatite, sugerindo uma melhor adaptabilidade dos materiais biocerâmicos na endodontia. (Adaptado de Asaworarit et al., 2020)

Tabela 4: comparação de microinfiltrações apicais após a presa de 2 cimentos em 3 diferentes períodos de tempo. (Asaworarit et al., 2020)

Período de teste	Valores de microinfiltração apical	
	Endosequence BC sealer	AH plus
24 horas	0,651	4,013
7 dias	0,325	0,941
4 semanas	0,288	0,888

- Seyda Ersahan & Cumhur Aydin (2012) utilizaram o método de filtração de fluidos para demonstrar que o selante biocerâmico IRoot® SP não apresenta diferença significativa na estanqueidade apical em comparação com o cimento resinoso AH Plus®.

- Viapiana et al. (2016) observaram microscopicamente que as obturações com o cimento de silicato tricálcico BioRoot RCS™ apresentavam um percentual de espaços vazios superior àquelas com o cimento resinoso AH Plus®, (Figura25) mas concluíram que esses dois cimentos não diferiam em sua capacidade de selamento final.

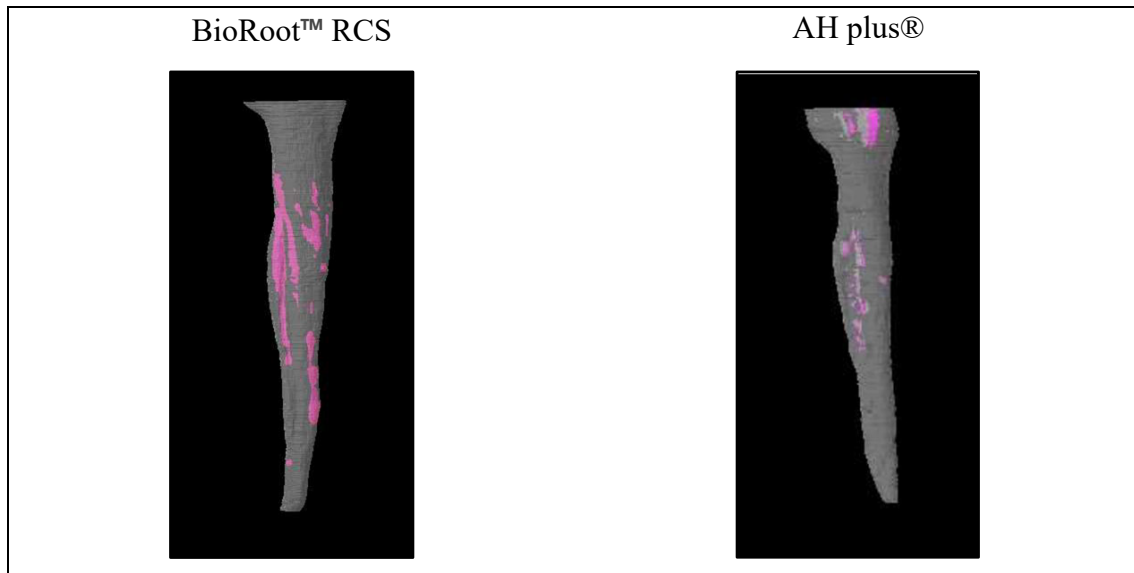


Figura 25 : Reconstruções volumétricas e caracterização dos espaços vazios das obturações radiculares realizadas com guta-percha e BioRoot RCS™ ou AH Plus®. (Adaptado de Viapiana e al., 2016).

- Al-Haddad & Aziz (2016) e Rekha et al. (2023), têm concluído que os MBCOCs têm capacidades de selamento equivalentes aos selantes à base de resina epóxi. Diante de tal disparidade de resultados, torna-se difícil chegar a conclusões definitivas. Parece necessário conduzir estudos adicionais com poder estatístico aumentado e protocolos comparáveis para esclarecer esta questão.

3.3.2.5 A solubilidade

A solubilidade dos MOCs é uma característica crucial para garantir a estanquicidade e a durabilidade do enchimento. É definida como a quantidade máxima de massa perdida quando um material é imerso em água, expressa em mol/L ou g/L.

Está intimamente ligada à degradação dos componentes do material pelos efeitos de dissolução dos fluidos circundantes.

A insolubilidade dos MOC é de importância crucial para o sucesso do tratamento do canal radicular, uma vez que assegura a criação de um selamento estanque entre a parede

dentinária e a restauração. Um elevado nível de solubilidade nos materiais de obturação do canal radicular pode potencialmente levar à formação de espaços vazios dentro e entre o material e a parede dentinária do canal, abrindo caminho para fugas para os tecidos circundantes. De acordo com a ISO 6876/2012 e a ANSI/ADA, a solubilidade de um cimento endodôntico não deve exceder 3% da sua massa após 24 horas de imersão, para evitar a perda de selamento devido à solubilidade excessiva (Leci-Shala et al., 2024).

Em estudos recentes, como os realizados por Leci-Shala et al (2024), foi observada uma solubilidade excessiva em cimentos endodônticos “biocerâmicos”, como o Endosequence® BC Sealer™ e o Fillapex® MTA, excedendo em muito as normas recomendadas pela ANSI/ADA. Esta tendência foi corroborada pelo trabalho de (Mann et al., 2022), que revelou uma elevada solubilidade para o Endosequence® BC Sealer HiFlow™ e Endosequence® BC Sealer™.

Entre os cimentos endodônticos Bio-C® Sealer, BioRoot RCS™, MTA Fillapex®, e Total Fill® BC sealer™, observou-se maior solubilidade em comparação com o AH Plus® e superior às normas exigidas. (Silva et al., 2021).

Este aumento da solubilidade de todos estes selantes pode ser explicado pela presença de partículas nanométricas hidrofílicas que aumentam a sua área de superfície, permitindo que mais moléculas de líquido entrem em contacto com o selante. Além disso, o tempo de presa pouco fiável destes selantes também pode contribuir para os valores elevados de solubilidade (Silva et al., 2021).

Os valores de solubilidade comunicados podem ser exagerados. De facto, o meio de teste sugerido pela norma é a água, uma vez que foi demonstrado que a utilização de soluções fisiológicas fornece valores de solubilidade diferentes e contrastantes, o que explica a elevada solubilidade dos cimentos endodônticos hidráulicos relatada em alguns estudos (Drukteinis & Camilleri, 2021).

3.3.2.6 Variações dimensionais

A variação dimensional dos MOC à base de silicato de cálcio é um aspecto crucial a ser considerado no campo da endodontia, pois essas variações podem ter importantes implicações clínicas, como a criação de espaços ao longo das interfaces selante/material de cone ou selante/dentina, que podem favorecer a propagação de micro-organismos, bem como a formação de espaços marginais e microinfiltração.

De acordo com as normas ISO 6876/2001 que regem a estabilidade dimensional, é essencial que a contração do selante após sua polimerização permaneça abaixo de 1% ou apresente uma expansão não superior a 0,1% em relação à massa inicial (Kwak et al., 2023).

O estudo de Karam et al. (2023) mostrou que o Total Fill® BC sealer™ e o AH Plus® Bioceramic sealer, avaliados, apresentaram uma ligeira expansão ao longo do tempo quando expostos à temperatura corporal, mas os valores estavam dentro da faixa recomendada (contração $\leq 1\%$ em 30 dias) para temperaturas de 37 °C e 60 °C. No entanto, a 200 °C, os valores de contração para todos os selantes excederam a faixa recomendada, indicando que foram prejudicados por altas temperaturas.

Segundo o estudo Kwak et al. (2023) EndoSequence® BC sealer™, TotalFill® BC sealer™ e Bio-C® sealer estavam em conformidade com os requisitos da ISO 6876/2001 e apresentaram uma contração volumétrica após 30 dias (Figura 26) A maior mudança volumétrica foi observada no 14º dia, seguida por uma ligeira expansão no 30º dia. Essa contração pode ser atribuída às nanopartículas hidrofílicas que aumentam a superfície das moléculas líquidas, permitindo que um maior número delas interaja com o selante.

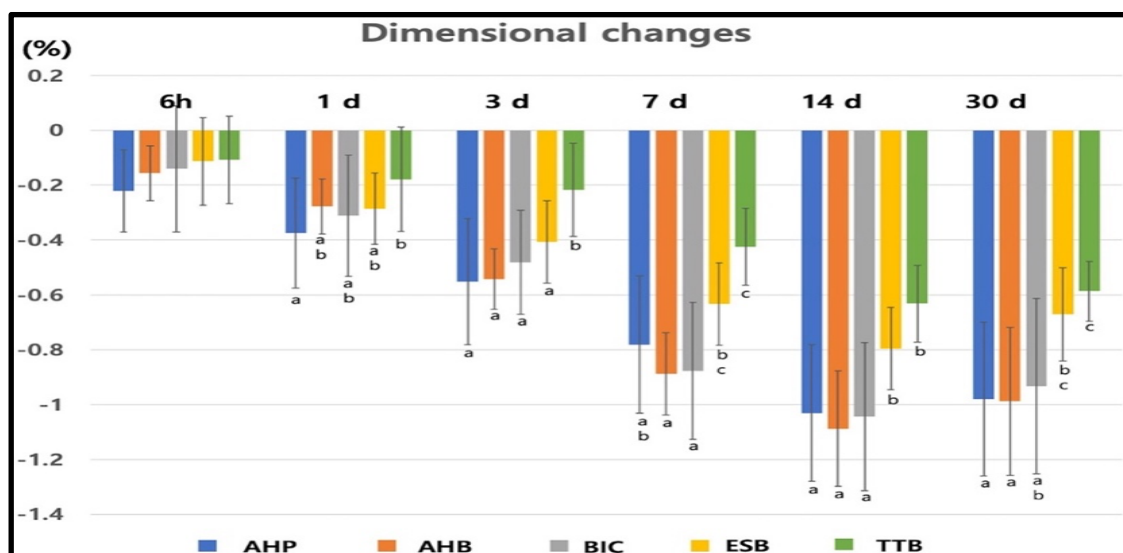


Figura 26 : Comparação das alterações dimensionais (%) dos selantes testados (AH Plus®, AH Plus® Bioceramic, Bio-C® Sealer, EndoSequence® BC Sealer™ e TotalFill® BC Sealer™), durante o mesmo período de avaliação, que vai de 6 horas a 30 dias. (Adaptado de Kwak e al., 2023)

Zhou et al. (2013) realizaram um estudo ao longo de 30 dias para avaliar a variação dimensional dos MOC em água. Este estudo revelou que o MTA Fillapex® apresenta uma

leve contração, mas está em conformidade com a norma ISO. Quanto ao selante Endosequence® BC sealer™, não houve contração durante a polimerização, mas uma leve expansão, conforme a norma ISO 6876/2001 (inferior a 0,1%). Essa expansão foi atribuída à absorção de água, o que melhora o selamento entre o material e a dentina. Os MBCOCs apresentam as variações dimensionais mais baixas em comparação com as resinas epóxi, que estão muito acima do padrão.

3.3.2.7 Radiopacidade

Os MOC devem ser visíveis nas radiografias para permitir uma avaliação precisa do tratamento. De acordo com as normas ISO 6876/2001, esses selantes devem ter uma radiopacidade mínima de 3,00 mm de alumínio (Al-Haddad & Aziz, 2016).

O Endo CPM sealer® possui uma radiopacidade de 6 mm devido à presença de trióxido de bismuto e sulfato de bário. Da mesma forma, a presença de trióxido de bismuto confere ao MTA-Fillapex® uma radiopacidade de 7 mm (Al-Haddad & Aziz, 2016).

Tradicionalmente, o óxido de bismuto, um agente radiopacificador usado para alcançar essa radiopacidade, tem gerado controvérsias devido a potenciais problemas de coloração dos dentes e difusão nos tecidos.

Para evitar esses problemas, os novos MOC à base de silicatos foram desenvolvidos, utilizando agentes radiopacificadores como o óxido de zircônio.

A radiopacidade de todos os selantes de silicato tricálcico testados excedeu a radiopacidade mínima. A radiopacidade dos selantes de cimento de silicato tricálcico varia de 5 a 8 mm de alumínio, semelhante ao que foi relatado para outros tipos de selantes, exceto para o selante AH Plus Bioceramic, que tem um equivalente de alumínio mais alto, na faixa de 9 a 14 mm (Aminoshariae et al., 2022).

Para o AH Plus® Bioceramic sealer™, a radiopacidade excede o mínimo de 3 mm, pois o agente radiopacificador do AH Plus® Bioceramic sealer™ representa 50 a 70% em peso (Souza et al., 2023).

A radiopacidade do BioRoot RCS™ é avaliada em cerca de 6,85 mm (+/- 2 mm) de equivalente de alumínio (Al) de acordo com (Prüllage et al. (2016) e Xuereb et al.(2015). Esses valores são significativamente superiores aos geralmente fornecidos pelo fabricante, que é de 5 mm de equivalente de alumínio (Prüllage et al., 2016).

Candeiro et al. (2012) relatam que a radiopacidade do selante Endosequence® BC sealer™ é medida em aproximadamente 3,834 +/-0,346 mm de espessura equivalente de alumínio.

A radiopacidade do Total Fill® BC sealer™ é de 4 ± 0,15 mm em alumínio (Schembri Wismayer et al., 2016) .

É importante notar que não há diferença significativa entre esses níveis de radiopacidade. No entanto,esses níveis são inferiores aos dos cimentos resinosos AH Plus®.

3.3.2.8 Tempos de presa e de trabalho

Um tempo de presa é definido como o período necessário para obter uma manipulação adequada do material. O tempo de trabalho é o período medido desde o início da mistura até o momento em que não é mais possível manipular o selante sem comprometer suas propriedades.

Um tempo de presa prolongado pode ter consequências adversas, como aumento da porosidade e maior liberação de subprodutos citotóxicos.

Por outro lado, um tempo de presa muito curto favoreceria a formação de um selamento entre o sistema de canal radicular e os tecidos periapicais, mas limitaria o tempo disponível para manipulação (Al-Haddad & Aziz, 2016).

De acordo com as normas ISO 6876:2012,o tempo de presa dos MOC deve estar em conformidade com os valores especificados pelos fabricantes. (Cardoso & al., 2022).Esse parâmetro é influenciado por diversos fatores, como sua composição química, tamanho das partículas, quantidade de partículas, temperatura e humidade do ambiente (Lyu et al., 2022 ; Souza et al., 2023).Além disso, alguns selantes à base de silicato de cálcio, como observado por Lyu et al. (2022), podem apresentar tempos de presa prolongados in vitro devido à ausência de fluidos teciduais. De fato, como sugerido por Koo et al. (2023), a presença de líquido tecidual nos túbulos dos canais pode influenciar o ambiente durante a reação de hidratação e, assim, afetar o tempo de presa.

Os dados coletados de várias estudos documentados na literatura, bem como os tempos de presa e trabalho especificados pelos fabricantes, são resumidos na tabela sintética abaixo :

Tableau 5: Tempos de presa e de trabalho de alguns novos cimentos de obturação à base de silicato de cálcio. (Dong e Xu, 2023; Khalil e al., 2016; Prüllage e al., 2016; Viapiana e al., 2016; Xuereb e al., 2015; Zhou e al., 2013).

Material	Tempo de presa indicado pelo fabricante	Tempo de trabalho avaliado pelo fabricante	Tempo de presa avaliado por estudos diferentes	Tempo de trabalho avaliado por estudos diferentes
Endosequence®BC Sealer™	*4 horas *10 horas (em canais muito secos)	*Superior a 4 horas	*2,7 horas *19 horas em soro fisiológico *7 dias	*Sem dados
MTA Fillapex®	*2,27 ->4,55 heures,	*Sem dados	*66 minutos *2 horas *entre 2,27 (temps initial) e 4,55 horas (tempo final) 9 horas *superior a 7 dias	*30 minutos
BioRoot RCS™	*Menos de 4 horas	*15 minutos	*27 minutos *5 horas et 24 minutos (tempo final)	*Sem dados
iRoot® SP	*4horas *10 horas(em canais secos)	*Mais de 4 horas	*571,7 minutos	*105.0 +/-3.6 minutos 164.3 +/-4.0 minutos
TotalFill®BC Sealer™	*Mais de 4 horas	*Mais de 10 horas	*À 37 °C, 1524,8 ± 74,67 minutos	*Sem dados

Os estudos que avaliam os tempos de presa e de trabalho desses cimentos de vedação são limitados e apresentam resultados variáveis, mesmo com uma metodologia semelhante.

No entanto, esses cimentos parecem ter tempos de trabalho e de presa mais curtos do que outros cimentos endodônticos, como o AH Plus®, mas ainda assim são suficientemente longos para permitir sua utilização e manipulação em todo o sistema de canais radiculares.

Os tempos de presa e de trabalho experimentais são significativamente mais longos do que os declarados pelos fabricantes, destacando a importância de levar esses dados em consideração na prática clínica.

3.3.3 Propriedades mecânicas: resistência à fratura radicular

Em endodontia, as fraturas longitudinais de dentes tratados endodonticamente são uma complicação comum que pode ocorrer antes, durante ou após a obturação. Todo o processo de tratamento, incluindo a instrumentação do canal radicular, a desinfecção e a obturação, representa fases críticas em que a remoção excessiva de tecido dentário, o contacto prolongado dos irrigantes com a dentina e a aplicação excessiva de força durante a obturação podem enfraquecer as propriedades mecânicas da raiz, tornando-a mais frágil. A utilização de materiais biocerâmicos para a obturação de canais radiculares tem atraído um interesse crescente devido ao seu potencial para aumentar a resistência à fratura dos dentes tratados (Gadekar et al., 2023).

Vários estudos *in vitro* sugerem que os selantes biocerâmicos podem aumentar significativamente a resistência à fratura dos dentes tratados endodonticamente. Composto principalmente por silicatos de cálcio, estes selantes interagem com os fluidos dos tecidos para criar uma camada semelhante à hidroxiapatite, melhorando a adesão às paredes dentinárias e potencialmente formando uma ligação química que aumenta a resistência à fratura. A sua composição nanoparticulada promove a penetração profunda nos túbulos dentinários e nas irregularidades do canal radicular, contribuindo ainda mais para o seu efeito fortalecedor (Li et al., 2024).

De acordo com o estudo *in vitro* de Gadekar et al (2023), os dentes tratados endodonticamente com o selante biocerâmico Bio-C apresentam maior resistência à fratura do que os tratados com o selante de resina epóxida AH Plus.

Além disso, (Al-Hiyasat et al., 2023) observou que a obturação com o cimento TotalFill® BC sealer™ melhorou mais a resistência à fratura radicular do que o cimento AH Plus®, e salientou que a obturação com um único cone resultou numa maior resistência à fratura do que as técnicas de condensação vertical a quente e de condensação lateral a frio.

Estes resultados realçam a importância da escolha dos materiais e técnicas de obturação para otimizar a resistência dos dentes tratados endodonticamente.

Em resumo, apesar de alguns estudos *in vitro* sugerirem que os materiais biocerâmicos utilizados como selantes do canal radicular podem melhorar a resistência à fratura dos dentes tratados endodonticamente, são essenciais ensaios clínicos rigorosos com acompanhamento prolongado para verificar a sua eficácia *in vivo*. É necessária mais investigação para confirmar estes resultados iniciais em condições reais e durante períodos mais longos para garantir a fiabilidade dos materiais biocerâmicos na melhoria da durabilidade a longo prazo dos dentes tratados (Li et al., 2024).

3.3.4 Propriedades estéticas

A discromia dentária é um problema frequente após o tratamento endodôntico, manifestando-se por uma mudança indesejável na cor do dente, muitas vezes observada na região anterior. Além da patologia que exige o tratamento dos canais radiculares e a decomposição do tecido pulpar, os produtos e materiais utilizados em endodontia também estão envolvidos neste fenómeno. Alguns componentes desses materiais, como o eugenol, o óxido de bismuto ou os aditivos de prata, bem como as reações químicas em contacto com os irrigantes ou o colagénio dentário, podem desencadear a discromia. Os pigmentos escuros podem ser transmitidos através dos tecidos duros, provocando uma descoloração a longo prazo.

Em todos os estudos, a avaliação da discromia foi realizada com dispositivos espectrofotométricos; geralmente, os períodos de observação variaram de 3 meses a 3 anos (Katakidis et al., 2023).

Ioannidis et al. (2013), utilizando espectrofotometria durante um período de teste de 3 meses, demonstraram uma menor coloração dentária ao usar um cimento de selamento biocerâmico, em comparação com os selantes à base de óxido de zinco e eugenol (OZE). De facto, neste estudo, o MTA Fillapex® não induziu uma coloração coronária clinicamente perceptível a olho nu, apesar da presença de trióxido de bismuto, sugerindo assim que a utilização do MTA Fillapex® pode ser favorável do ponto de vista estético.

Por outro lado, o estudo conduzido por Ekici et al. (2019) ao longo de um período de teste de 3 anos, (Figura 27), foi demonstrado que o MTA Fillapex® apresenta o potencial de descoloração mais elevado e uma descoloração contínua a longo prazo, provavelmente atribuível ao seu teor de trióxido de bismuto.

Essa descoloração persistente foi observada mesmo em comparação com os selantes à base de OZE e os selantes à base de resina epóxi. A presença de óxido de bismuto como agente radiopacificador foi associada a um aumento do efeito de descoloração dos selantes de canal radicular à base de silicato de cálcio quando entram em contato com o hipoclorito de sódio.

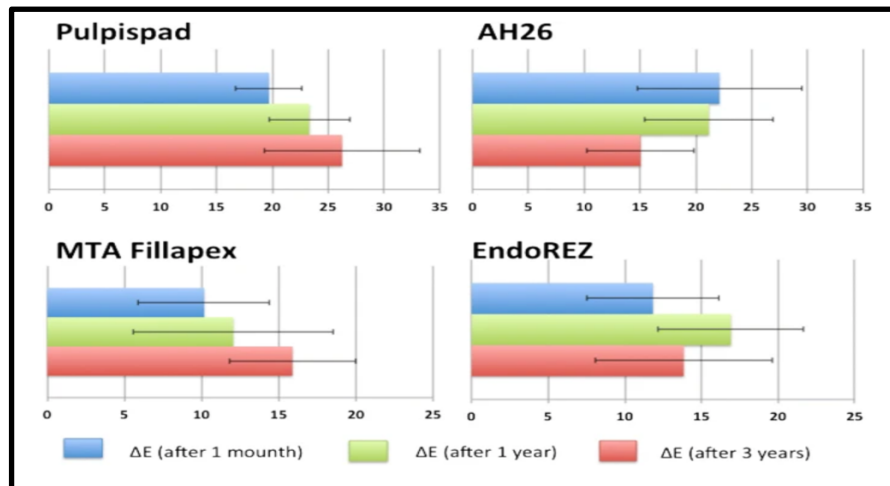


Figura 27: Mudança nos valores de ΔE (alterações de cor) de Pulpispad, AH26, MTA Fillapex e EndoREZ ao longo dos períodos de avaliação. (Adaptado de Ekici e al., 2019)

A utilização do selante TotalFill® BC sealer™, resultou na maior mudança de cor em comparação com AH Plus e Apexit Plus, mas sem diferença significativa, de acordo com o estudo de Alotaibi et al. (2019).

Além disso, foi observado que o iRoot®SP provocava uma descoloração clinicamente perceptível mais significativa do que a observada com AH Plus® com uma tendência a aumentar durante os três primeiros meses antes de se estabilizar progressivamente aos seis meses. Esta variação na intensidade da descoloração pode ser atribuída a uma maior capacidade inicial de penetração nos túbulos dentinários pelos selantes, o que pode levar a uma maior liberação de componentes propensos à descoloração (Forghani et al., 2016).

No estudo conduzido por Isabella Marian Lena (2023), foram observadas diferenças significativas entre os diferentes limites de preenchimento cervical dos selantes.

Foi constatado que os efeitos cromogênicos dos selantes radiculares são amplificados quando o excesso de selante não é removido adequadamente da dentina coronária da câmara pulpar (Figura 28).

Isso destaca a importância crucial de posicionar o limite cervical do material de obturação radicular a 2 mm da junção amelo-dentinária para minimizar a descoloração.

Além disso, os dentes preenchidos com os selantes AH Plus®, MTA Fillapex® e Sealer Plus BC® apresentaram coloração entre 1 semana e 12 meses. Foram observadas diferenças significativas entre os selantes MTA Fillapex® e Sealer Plus BC® na avaliação de um mês. Vale ressaltar que o MTA-Fillapex® foi identificado como o selante que causa menos descoloração da coroa.

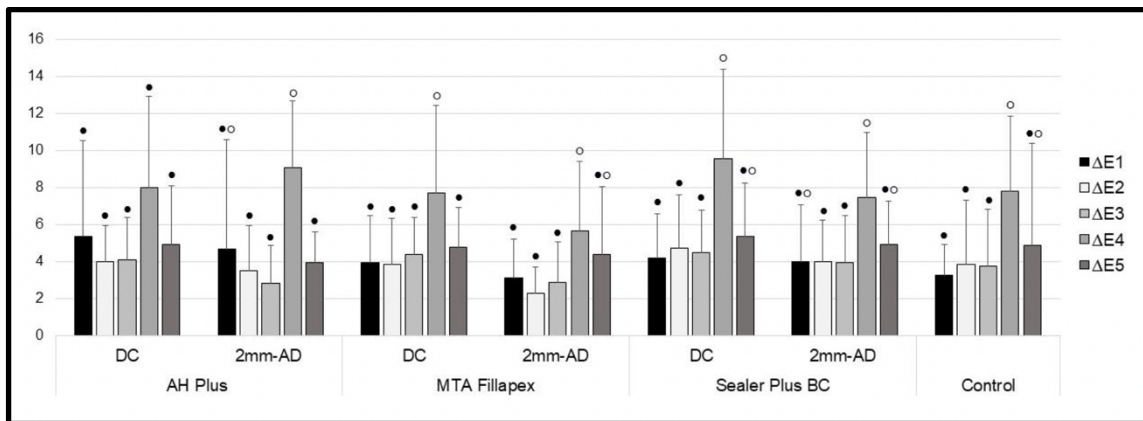


Figura 28: Representação gráfica da mudança de cor para cada grupo experimental ao longo do tempo (Adaptado de Isabella Marian Lena 2023).

Embora poucos estudos tenham avaliado o potencial de descoloração dos novos cimentos de selamento biocerâmicos à base de silicato de cálcio, foram observados resultados divergentes, sublinhando assim uma certa ambiguidade quanto ao seu efeito na descoloração dentária.

Em conclusão, embora alguns cimentos de selamento biocerâmicos, especialmente aqueles à base de silicato de cálcio, possam ser favoráveis em termos de descoloração dentária, são necessários estudos adicionais para compreender melhor o seu impacto a longo prazo na estética dentária e resolver qualquer ambiguidade nos resultados observados.

3.3.5 Retratamento

Durante o tratamento endodôntico inicial, os MOC desempenham um papel crucial ao formar uma barreira mecânica que isola os tecidos necróticos e as bactérias persistentes no sistema de canais radiculares após a instrumentação e a irrigação.

No entanto, apesar dessa função protetora, os fracassos nos tratamentos endodônticos permanecem uma realidade significativa na prática endodôntica.

As razões por trás desses fracassos são diversas e incluem a percolação apical, perfuração radicular, canais não obturados, lesões periodontais coexistentes, sobre-extensão e sub-extensão dos materiais de obturação, microinfiltração coronária devido à perda de restauração, bem como a recorrência da desintegração dos materiais de obturação (Arul et al., 2021).

Em muitos casos, esses problemas podem ser resolvidos por meio de retratamento endodôntico, evitando assim a necessidade de uma intervenção cirúrgica mais invasiva e menos confortável para o paciente.

Embora os MBCOCs tenham surgido como uma alternativa promissora aos materiais de obturação tradicionais em endodontia, a questão de sua retração ainda é um desafio importante na prática clínica. Wilcox et al. observaram que a maior parte do material remanescente durante o retratamento é o selante. De fato, os cimentos biocerâmicos apresentam uma dificuldade significativa em termos de retração durante o retratamento endodôntico. Mesmo na ausência de complexidades anatômicas, esses materiais não são completamente removidos dos canais radiculares (Al-Haddad & Aziz, 2016).

As propriedades dos cimentos endodônticos, como adesão à dentina e à guta-percha, penetração nos túbulos dentinários, espessura do filme, e a formação de hidroxiapatite com a dentina radicular pelo os MBCOCs pode dificultar sua remoção durante os procedimentos de retratamento (Arul et al., 2021).

Diferentes abordagens experimentais têm proposto instrumentos de remoção motorizados ou manuais, protocolos de limpeza adicionais, irrigação ultrassônica, instrumento de acabamento XP-endo e irrigação ativada a laser. A quantificação do material de obturação residual foi avaliada por a microtomografia computadorizada (micro-CT), microscopia, tomografia de feixe cônico e radiografia convencional (Katakidis et al., 2023).

Nos artigos incluídos na revisão sistemática de Arul et al (2021), foram examinados seis tipos diferentes de cimentos biocerâmicos: EndoSequence® BC Sealer™, Endoseal MTA, BioRoot RCS™, Neo MTA Plus®, MTA Fillapex® e TotalFill® BC Sealer™. A revisão concluiu que, independentemente do cimento utilizado, os resíduos estavam consistentemente presentes nos canais radiculares após o retratamento.

Estes resultados realçam a persistência de materiais de obturação nos canais radiculares, apesar dos diferentes métodos de reprocessamento utilizados.

Essa quantidade de material de obturação remanescente é encontrada principalmente no terço apical das raízes tratadas. Os resíduos de material de obturação, especialmente no terço apical das raízes tratadas, podem comprometer a cicatrização e a cura, aumentando assim o risco de falha no tratamento (Crozeta et al., 2021).

Finalmente, os protocolos de limpeza adicionais e a utilização de irrigação ultrasónica passiva ou activada por laser parecem ser benéficos na redução de um elevado volume de resíduos de obturação. Por exemplo, a utilização adicional do XP-endo Finisher R (XPR) melhorou a remoção dos materiais de obturação, independentemente do tipo de selante utilizado.

De acordo com o estudo de Sinsareekul & Hiran-us (2022), o uso adicional do XP-endo Finisher R e da irrigação ultrasónica passiva eliminou efetivamente os materiais de obturação radicular do iRoot®SP dos canais de formato oval. No entanto, nenhuma das técnicas o removeu completamente, (Figura 29) .

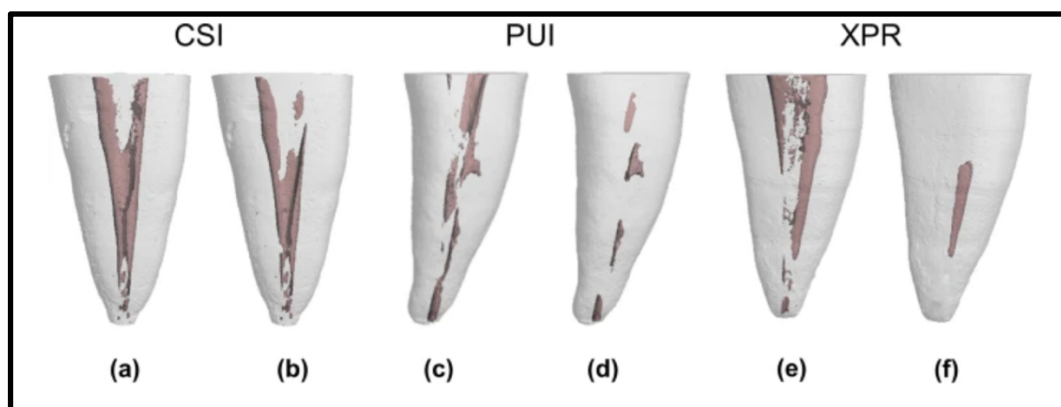


Figura 29 : Imagens representativas dos modelos tridimensionais do sistema de canal radicular mostram os materiais de preenchimento residuais antes e após a utilização dos três protocolos de limpeza adicionais. (Adaptado de Sinsareekul e Hiran-us, 2022).

Em síntese, de acordo com todos os estudos, o retratamento de dentes tratados com MBCOC à base de silicato de cálcio parece ser uma tarefa complexa. Embora seja possível recuperar o comprimento de trabalho e a permeabilidade apical, dependendo da técnica utilizada, o principal desafio é a incapacidade de eliminar completamente o material de obturação, independentemente do processo utilizado.

Essa dificuldade dificulta a limpeza completa do espaço do canal e compromete a realização de um retratamento eficaz. A dificuldade em retratar adequadamente dentes obturados com esses novos cimentos para obturação representa uma desvantagem significativa.

Dada a complexidade encontrada, mais estudos são necessários para desenvolver protocolos eficazes e clinicamente aplicáveis. Isso visa fornecer informações sobre técnicas de retratamento especificamente adaptadas aos cimentos para obturação à base de silicato de cálcio.

4 Aplicações clínicas dos cimentos biocerâmicos e seus benefícios em Endodontia

Os MBCOCs adequados para obturação ortógrada são indicados e são interessantes especialmente:

- Quando uma LIPOE (lesão inflamatória perirradicular de origem endodôntica) está presente (Drukteinis & Camilleri, 2021).
- Quando é observada fragilidade radicular (pois o uso da técnica monocônica é menos desgastante) (Thomas.j, 2017).
- Quando a secagem do canal é delicada: A tolerância à umidade e aos líquidos dos cimentos à base de silicato de cálcio permite uma obturação eficaz em canais onde a secagem é difícil (M.Ree & R.Schwartz, 2017).
- Quando os sintomas persistem após um tratamento inicial: Devido às suas excelentes propriedades antibacterianas e bom selamento, os selantes à base de biocerâmica são úteis em retratamentos de casos com sintomas persistentes após um tratamento inicial.

No tratamento de reabsorções ou perfurações, o selante em forma pode ser utilizado, pois é recomendado obstruir o restante do canal com o mesmo tipo de cimento biocerâmico usado para preencher a cavidade de reabsorção ou perfuração (Drukteinis & Camilleri, 2021). É importante notar que essas indicações são baseadas na experiência clínica e no conhecimento das propriedades biológicas e físico-químicas dos MBCOCs à base de silicato de cálcio. Embora os estudos a longo prazo ainda não estejam suficientemente disponíveis, a utilização destes é apoiada por observações clínicas positivas.

4.1 Contribuição dos MBCOC para a cicatrização de lesões periapicais

Os selantes à base de biocerâmica mostraram boa biocompatibilidade sem efeitos citotóxicos e formam uma ligação química com as paredes da dentina. Esses selantes apresentam atividade anti-inflamatória e promovem a diferenciação osteogênica (B.-N. Lee et al., 2019).

B.-N. Lee et al., 2019 descobriram que o Endosequence® BC Sealer™, apresentava um pH significativamente mais alto do que o AH Plus.

Na periodontite apical, observa-se radiograficamente a extensão do espaço ligamentar periodontal e a reabsorção óssea, e a perda óssea é principalmente desencadeada por osteoclastos ativados. Muitas citocinas, como IL-6 e TNF- α , potencialmente induzem a diferenciação de osteoclastos e aumentam a atividade dos osteoclastos. Portanto, a inibição da expressão de citocinas deve diminuir a reabsorção óssea devido à inflamação (Castro-Jara et al., 2023).

Endosequence® BC Sealer™, reduziu a expressão de mediadores inflamatórios induzidos pelo LPS e intensificou a diferenciação osteogênica que foi diminuída pelo LPS. (O tratamento com lipopolissacarídeo foi usado para induzir uma resposta inflamatória neste estudo) (B.-N. Lee et al., 2019). Os selantes à base de silicato de cálcio são semelhantes ao MTA. Este é um indutor conhecido de diferenciação e mineralização odontoblástica devido à liberação de cálcio (Drukteinis & Camilleri, 2021).

Os íons de cálcio desempenham um papel importante na formação e mineralização dos tecidos duros. Os íons de cálcio estimulam a expressão de proteínas ósseas e são indispensáveis para a diferenciação e mineralização das células.

Além disso, são essenciais para a formação de apatite. Essa formação pode então estimular os osteoblastos a produzir e mineralizar novo osso depositando cristais de apatite.

Portanto, considera-se que a liberação de cálcio pelo EndoSequence BC sealer favorece a diferenciação osteoblástica e a formação de nódulos de cálcio. Eles se ligam-se integram-se ao osso vivo sem formar tecido fibroso ao redor deles e sem causar inflamação ou toxicidade.

4.2 Contribuição dos MBCOC para a reparação de perfurações

Recentemente, afirmou-se que MBCOCs à base de silicato de cálcio hidráulico, como BioRoot RCSTTM, EndoSequence[®] BC SealerTM e TotalFill[®] BC SealerTM, podem ser utilizados não apenas como materiais de selamento, mas também como materiais de preenchimento biológicos injetáveis (Drs Ken Koch, 2013; Drukteinis & Camilleri, 2021).

As principais propriedades desses materiais, tais como atividade antimicrobiana, biocompatibilidade e bioatividade, são idênticas às fórmulas de reparo radicular (Prati & Gandolfi, 2015).

Assim, esses materiais podem ser usados como preenchimentos biológicos em situações clínicas em que uma reparação radicular significativa, substituição de dentina ou fortalecimento da raiz não sejam necessários, e quando a perfuração e a comunicação entre o espaço do canal e os tecidos periodontais não estejam estendidas (Simon & Flouriot, 2021).

Essas situações clínicas podem incluir deslocamentos acidentais do canal radicular apical, perfurações laterais ou em faixa, com acesso limitado ou difícil e falta de controle visual direto (Estrela et al., 2018).

Após o desbridamento do canal radicular usando irrigação copiosa com agentes irrigantes apropriados e técnicas de irrigação, os canais das raízes perfuradas devem ser secos e uma ponta de gutta-percha pré-ajustada é inserida. Em seguida, o canal radicular é preenchido com um cimento à base de silicato de cálcio hidráulico fluido, que nessas situações clínicas é usado como agente de preenchimento biológico, e a ponta de gutta-percha é inserida de novo no comprimento total do trabalho.

A superioridade da fluidez dos materiais e a pressão hidráulica adicional dentro do canal radicular podem garantir a distribuição e a penetração do cimento-preenchedor no "falso canal" e selar a perfuração sem nenhum manejo adicional (Drukteinis & Camilleri, 2021).

4.3 Contribuição dos MBCOC para o tratamento de reabsorções internas não perfurantes

As reabsorções dentárias, sejam externas ou internas, têm uma etiologia multifatorial, incluindo causas como necrose pulpar, traumas dentários, tratamentos ortodônticos, procedimentos de higiene profissional e branqueamento dental. O tratamento dessas reabsorções varia de acordo com o tipo e a localização (Drukteinis & Camilleri, 2021).

As reabsorções podem ser reparadas com materiais hidráulicos fluidos e sólidos à base de silicato de cálcio. As reabsorções externas devem ser reparadas, de preferência, com materiais de presa rápida, a fim de evitar uma possível lixiviação do material. Quanto às reabsorções internas, elas podem ser tratadas eficazmente com materiais hidráulicos fluidos (Drukteinis & Camilleri, 2021).

O tratamento das reabsorções internas não perfurantes geralmente segue as etapas de um tratamento endodôntico padrão. O canal é limpo por instrumentação e irrigação, frequentemente com uma etapa intermediária de aplicação de hidróxido de cálcio para remover os detritos orgânicos. Em seguida, o canal é obturado com guta-percha e um cimento de selamento. Embora o uso de cimentos de selamento à base de silicato de cálcio não seja específico, é altamente recomendado devido às suas propriedades biológicas que favorecem a biomineralização, sua atividade antimicrobiana e suas características mecânicas similares às da dentina (Haapasalo et al., 2015). Os cimentos à base de silicato de cálcio também oferecem um controle radiográfico facilitado devido aos seus agentes radiopacos (Prüllage et al., 2016).

Nenhum estudo atual demonstra a superioridade dos "seladores biocerâmicos" em relação a outros tipos de cimentos de selamento. No entanto, seu uso atende aos principais critérios de sucesso no tratamento de reabsorções, incluindo a remoção completa do tecido de reabsorção, o fortalecimento da estrutura dentária e a prevenção de recidivas.

4.4 Aspectos técnicos

4.4.1 Técnica de cone único

As técnicas tradicionais de obturação radicular, como compactação lateral e obturação termoplástica, têm sido há muito tempo os pilares da prática endodôntica, oferecendo um

sucesso clínico apreciável em muitos casos. No entanto, essas técnicas apresentam desvantagens significativas, incluindo:

- uma curva de aprendizado longa e complexa,
- uso de tempo de execução longo,
- desafios relacionados à retração ou reabsorção dos cimentos convencionais (Drukteinis & Camilleri, 2021).

A introdução de MBCOC à base de silicato de cálcio marcou uma mudança na forma como os canais radiculares são obturados (Camilleri, 2017). Esses materiais oferecem uma alternativa promissora aos MOC convencionais, devido à sua ausência de contração e estabilidade dimensional a longo prazo. Essa estabilidade permite o uso de volumes maiores de material sem a necessidade de aumentar a quantidade de guta-percha, já que os cimentos atuam tanto como selante quanto como preenchimento. Nesse contexto, a técnica de cone único surgiu como uma abordagem interessante para simplificar o processo de obturação. Embora inicialmente desencorajada com os MOC convencionais devido às suas limitações, a introdução dos MBCOCs abriu novas perspectivas. Esses materiais oferecem vantagens significativas, incluindo uma leve expansão durante o processo de presa, excelente molhabilidade, biocompatibilidade e hidrofília, tornando-os ideais para uso com a técnica de cone único (Kooanantkul et al., 2023).

O uso de cimentos biocerâmicos com a técnica de cone único apresenta várias vantagens clínicas :

- permite uma obturação mais eficaz, preenchendo eficientemente os espaços vazios e garantindo um selamento hermético (Chybowski et al., 2018).
- simplifica o processo de obturação, reduzindo assim o tempo necessário para realizar o tratamento (Drukteinis & Camilleri, 2021).
- permite uma preparação mais conservadora das paredes do canal, bem como a ausência de pressão longitudinal ou lateral durante a obturação, reduzindo assim o risco de fratura radicular (Chybowski et al., 2018).
- é facilmente gerida pelos clínicos e não requer uma longa curva de aprendizado: de acordo com o estudo de Drukteinis & Camilleri (2021) (Figura 30), a avaliação tomográfica em microcomputador revelou que a qualidade da obturação do canal único

com o cimento hidráulico à base de silicato tricálcico BioRoot™ RCS era a mesma, independentemente da pessoa que realizou a obturação do canal: clínico geral, endodontista, estudante de pós-graduação em endodontia ou estudante do quarto ano de medicina dentária.

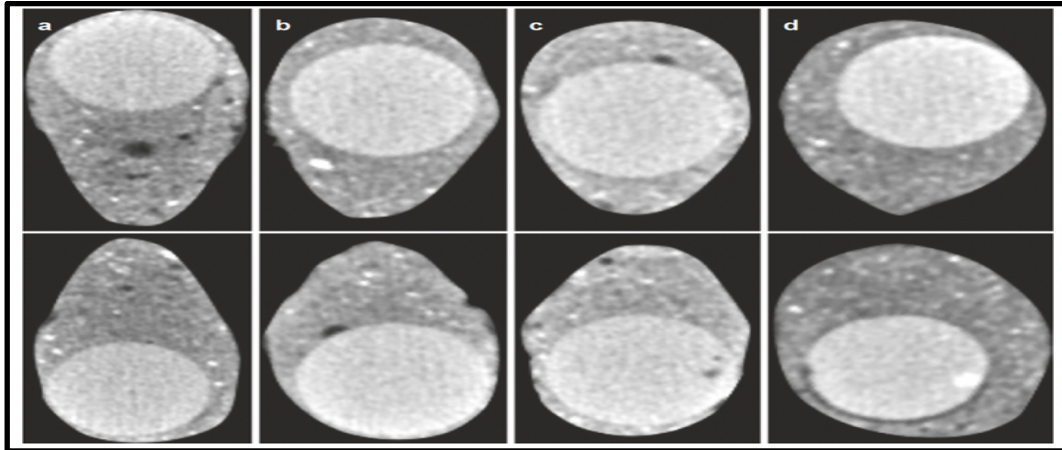


Figura 30 :As imagens transversais do micro-CT dos canais radiculares, obturadas com BioRoot™ RCS e um único cone de guta-percha pelo clínico geral (a), endodontista (b), estudante de pós-graduação em endodontia (c), e estudante do quarto ano de medicina dentária (d). (Adaptado de Camilleri e drukteinis 2021)

Os estudos clínicos têm corroborado a eficácia dessa abordagem, demonstrando taxas de sucesso comparáveis às das técnicas de obturação convencionais. Em um estudo retrospectivo *in vivo* envolvendo 307 dentes com um acompanhamento médio de 30,1 meses, Chybowski et al. (2018), obtiveram uma taxa de sucesso de 90,9% nos tratamentos endodônticos após a obturação com a técnica de cone único usando o EndoSequence® BC Sealer™.

O BC Sealer combinado com a técnica de cone único resultou em uma taxa de sucesso de 88,7% para o tratamento inicial e uma taxa de sucesso de 63,9% para o retratamento em outro estudo retrospectivo de (AlBakhakh et al., 2022).

Em estudos prospectivos, o BioRoot RCS™ combinado com o método de cone único alcançou uma taxa de sucesso de um ano de 90 a 97,44%, comparável à taxa de sucesso de 89 a 93,33% da condensação vertical quente de guta-percha com o uso de agentes de selamento à base de resina (Bardini et al., 2021 ; Zavattini et al., 2020). Além disso, o uso de MBCOC oferece uma solução durável e estável, minimizando os riscos de complicações a longo prazo.

Em resumo, a introdução dos MBCOCs melhorou significativamente a prática da obturação radicular, especialmente quando associada à técnica de cone único. Essa combinação oferece uma solução eficaz, confiável e fácil de usar para alcançar ótimos resultados clínicos em endodontia. No entanto, apresenta algumas limitações. Para canais ovais ou largos, é recomendado o uso de auxiliares de injeção de selante em conjunto com a técnica de cone único, como uma seringa com uma ponta intra-canal ou um lentulo, para limitar a formação de bolhas na obturação (Celikten et al., 2015).

Em casos de anatomia complexa, a técnica de cone único pode não permitir uma obturação tridimensional do sistema endodôntico. Nessas situações, o profissional pode recorrer a cimentos mais convencionais associados a técnicas de obturação quente, ou considerar o uso do EndoSequence® Hi-Flow, um MBCOC especificamente projetado para a obturação quente (Yang et al., 2021).

No entanto, apesar de suas vantagens, essa abordagem ainda não é amplamente aceita pela maioria dos clínicos devido à falta de diretrizes clínicas padronizadas e à dependência de produtos de selamento do canal radicular. Além disso, o uso do método de cone único é controverso e requer ensaios clínicos de longo prazo com amostras de grande porte para confirmar sua eficácia e sua aplicação clínica generalizada.

4.4.2 Protocolo clínico

4.4.2.1 Técnica de Compactação Lateral a Frio

- Seleção e inserção delicada de cones de papel correspondentes ao último instrumento usado para instrumentação do canal radicular, em todo o comprimento útil, para secar o canal.
- Verificação visual da umidade adequada dos canais radiculares observando se os 3 a 4 mm da extremidade do cone de papel estão húmidos após sua remoção, indicando assim uma leve umidade no canal.
- Seleção e adaptação do cone principal de guta-percha ao comprimento de trabalho, verificando sua adequação com um teste de resistência ao deslocamento ou "tração".
- Confirmação radiográfica do posicionamento correto do cone de guta-percha para garantir uma localização adequada no canal radicular.

- Aplicação do selante nas paredes do canal radicular e no espaço usando o método de entrega preferido, garantindo evitar excesso de material (Figura 31).

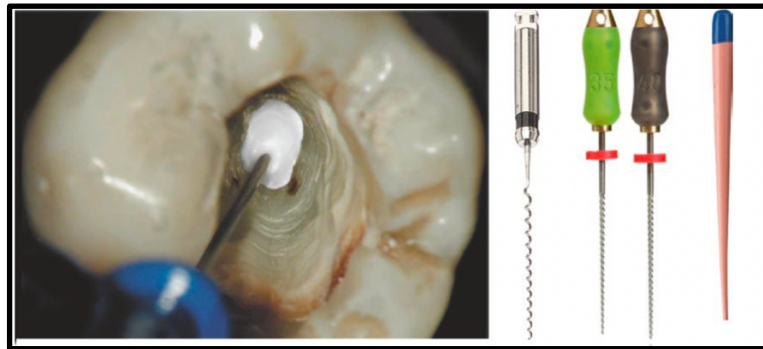


Figure 31: Diferentes métodos de administração de materiais fluidos à base de silicatos de cálcio: Os materiais fluidos à base de silicato de cálcio podem ser administrados (da esquerda para a direita) por injeção usando uma seringa, um lentulo em espiral, instrumentos endodônticos ou uma ponta de guta-percha. (Adaptado de camilleri e drukteinis 2021)

- Cobertura da extremidade do cone principal de guta-percha com uma pequena quantidade de selante para garantir boa aderência e selamento.
- Inserção lenta e cuidadosa do cone de guta-percha no canal radicular até o comprimento de trabalho final para obter uma obturação completa.
- Compactação meticulosa da guta-percha com um espaçador pré-equipado, garantindo que seja inserido com a ponta do cone principal de guta-percha a 1-2 mm do comprimento de trabalho.
- Seleção dos cones acessórios apropriados para corresponder ao tamanho do espaçador e inserção deles no espaço criado pelo espaçador para completar a obturação.
- Remoção cuidadosa do espaçador girando no sentido anti-horário para evitar perturbar a obturação.
- Verificação final da qualidade da obturação por radiografia para garantir sua integridade e adequação.
- Colocação de restauração temporária ou permanente para proteger a obturação e restaurar a funcionalidade do dente (Drukteinis & Camilleri, 2021).

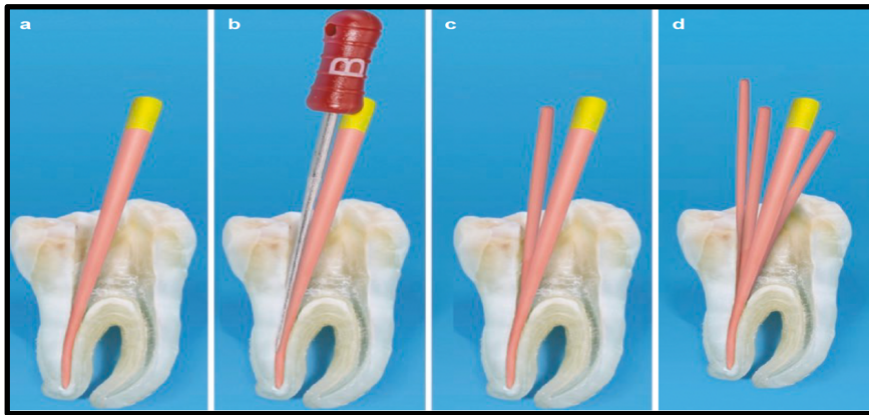


Figura 32 : As etapas clínicas da técnica de compactação lateral usando cones de gutta-percha principais e acessórios e o espaçador digital. (Adaptado de Drukteinis & Camilleri, 2021).

4.4.2.2 Técnica de Condensação Vertical a Quente

Em relação à técnica de condensação a quente, poucos estudos avaliaram o efeito do tratamento térmico sobre o desempenho do MOC, e as opiniões dos autores têm sido controversas.

De fato, foi relatado por Drukteinis & Camilleri (2020), assim como por Heran et al. (2019) e Viapiana et al. (2014), que os à base de silicato de cálcio nem sempre são adequados para as técnicas de obturação com gutta-percha quente, pois o calor afeta negativamente as propriedades físicas dos cimentos seladores, como o BioRoot™ RCS®, por exemplo, e que apenas os materiais pré-misturados podem ser usados com todas as técnicas de obturação a frio e termoplásticas em temperaturas mais altas sem nenhuma restrição.

No entanto, Alberdi Alberdi Koki et al. (2023) e Heran et al. (2019) não observaram efeito significativo do tratamento térmico na estrutura química dos cimentos seladores à base de silicato de cálcio, apesar das mudanças microestruturais que podem ocorrer devido à perda de água. Alberdi Koki et al. (2023); Dewi et al. (2022) constataram que a maioria dos cimentos seladores que avaliaram poderia ser considerada adequada para técnicas de obturação a quente.

Etapas:

- Seleção cuidadosa do cone principal de gutta-percha
- Ajuste da ponta, se necessário, removendo o excesso em incrementos de 0,5 mm usando um bisturi ou tesouras estéreis.

- Escolha do cone de gutta-percha apropriado que se aproximará a menos de 5 mm do comprimento de trabalho sem vincular, mas não menos de 3 mm.
- Confirmação do comprimento de trabalho usando um cone de borracha.
- Aplicação do cimento selador no canal seguindo uma técnica específica.
- Cobertura da ponta de gutta-percha até o terço apical, inserindo a ponta no canal.
- Remoção da parte coronária com um instrumento quente para amolecer a gutta-percha restante e condensação da gutta-percha usando um compactador frio para condensar a gutta-percha amolecida e forçar o material plastificado em direção ao ápice e repetição do processo até que o terço apical do canal seja obturado.
- Obturação dos terços médio e coronário do canal radicular usando pequenos pedaços de gutta-percha. Preferência por pastilhas de gutta-percha BC: previamente introduzidas.
- Aplicação de calor: Em seguida, aplicar calor e condensar a gutta-percha amolecida usando um condensador.
- Confirmação radiográfica: Por fim, fazer uma radiografia periapical para confirmar a qualidade da obturação do canal radicular (Drukteinis & Camilleri, 2021).

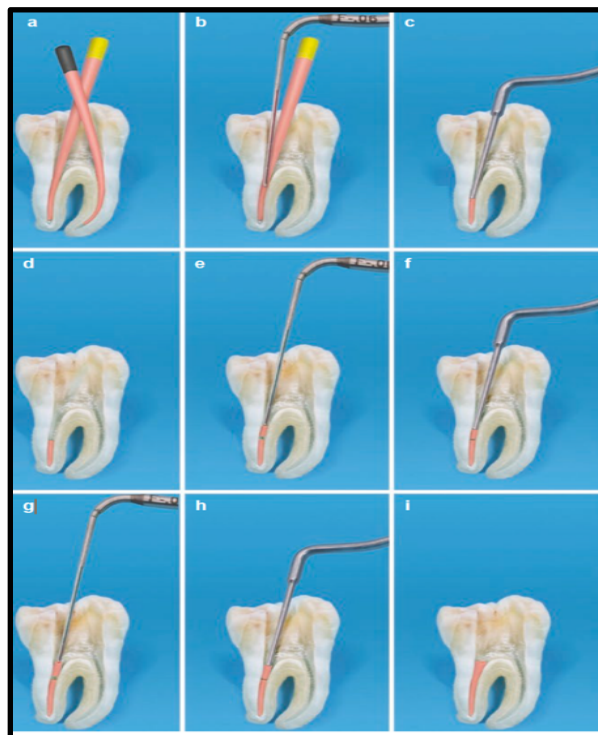


Figura 33 : A técnica "clássica" de compactação vertical a quente (Adaptado de Drukteinis & Camilleri, 2021)

4.4.2.3 Técnica de obturação monocônica

- Preparação do canal radicular respeitando as etapas de limpeza e modelagem.
- Seleção e adaptação da ponta principal de guta-percha ao tamanho e à conicidade do último instrumento usado para alargar o canal radicular, garantindo um ajuste preciso.
- Preparação dos cimentos/obturadores de acordo com as instruções do fabricante para garantir a consistência adequada e a mistura correta.
- Aplicação cuidadosa dos cimentos/obturadores no canal radicular usando métodos convencionais, como colocação manual ou uso de uma seringa de administração.
- Utilização do método de administração injetável para uma melhor distribuição do selante no canal radicular, devido à alta fluidez dos materiais hidráulicos à base de silicatos de cálcio.
- Cobertura minuciosa da extremidade da ponta de guta-percha para garantir um selamento ótimo e inserção lenta da ponta de guta-percha no canal radicular, evitando movimentos bruscos que possam resultar na extrusão do selante.
- Remoção precisa da ponta principal de guta-percha usando um instrumento aquecido nos orifícios do canal radicular, seguida de uma limpeza minuciosa do acesso endodôntico com algodão húmido.
- Verificação meticulosa da qualidade da obturação por radiografia ou outros métodos de imagem para garantir sua integridade e adequação .Finalização do procedimento de obturação pela colocação de uma restauração temporária ou permanente para proteger a obturação e restaurar a função do dente (Drukteinis & Camilleri,2021).

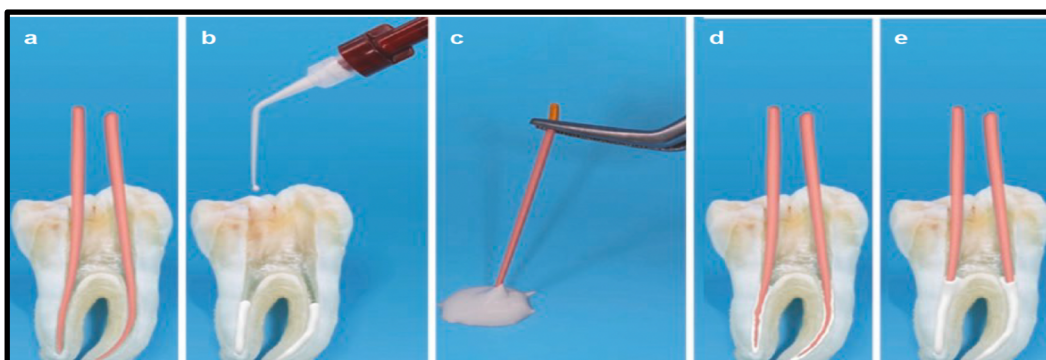


Figura 34: Principais etapas clínicas da técnica de obturação com um único cone, utilizando o selante hidráulico fluido à base de silicato de cálcio BioRoot™ RCS e um único ponto de guta-percha (adaptado de Drukteinis & Camilleri, 2021).

5 Discussão

Neste trabalho, todas as propriedades dos MBCOCs foram comparadas, referindo-se às propriedades ideais combinadas de Grossman, ANSI/ADA 57:2000 e ISO 6876:2012 para cimentos endodônticos (Quaresma et al., 2024). Os resultados da revisão bibliográfica do nosso trabalho mostraram que as propriedades físicas dos MBCOCs possuem muitas propriedades, como:

Esses selantes apresentam bons resultados clínicos com adequada colocação, tempo de trabalho e tempo de presa (Dong & Xu, 2023; Lyu et al., 2022). Eles são dimensionalmente estáveis, com uma expansão ou contração mínima (Koo et al., 2023 ; Kwak et al., 2023). Eles possuem características antimicrobianas e a sua capacidade de selamento é semelhante à dos materiais à base de silicato tricálcico para perfuração e obturação da raiz (Aminoshariae et al., 2022). A radiopacidade e a biocompatibilidade são adequadas (de Almeida-Junior et al., 2024 ; Prüllage et al., 2016 ; Sheela et al., 2023 ; Souza et al., 2023), e a compatibilidade com a humidade é melhor, pois esses materiais de selamento precisam de água para endurecer (Prüllage et al., 2016). A adesão, embora desejada, pode não ser substancial em comparação com a guta-percha, mas foi relatado que é melhor do que a adesão da resina epóxi às paredes dentinárias (Banphakarn et al., 2019). A maioria dos pesquisadores examinou esse critério usando um teste de resistência ao descolamento (Al-Hiyasat & Alfirjani, 2019).

No entanto, foram observadas algumas fraquezas desses MBCOCs:

Valores elevados de solubilidade: Os elevados valores de solubilidade dos MBCOCs são um motivo importante de debate, pois uma solubilidade aumentada poderia comprometer a sua eficácia a longo prazo em termos de selamento. Vários fatores influenciam a solubilidade desses agentes de obturação. Por um lado, a composição e o tempo, de endurecimento desempenham um papel crucial: a presença de nanopartículas hidrofílicas aumenta a superfície do material, favorecendo o contato com o líquido e aumentando a solubilidade (Silva et al., 2021).

Além disso, um endurecimento pouco confiável pode resultar numa liberação aumentada de elementos e contribuir para uma solubilidade elevada (Abu Zeid & Alnoury, 2023). As condições experimentais, como o líquido de contato utilizado e as condições de endurecimento, também podem afetar os resultados de solubilidade.

Por exemplo, testes realizados em líquidos de fluido corporal sintético mostraram uma solubilidade menor em comparação com aqueles realizados em água (Sfeir et al., 2021).

O potencial bioativo desses materiais para obturação à base de silicato de cálcio também é relevante, pois sua solubilidade pode ser confundida com a liberação de hidróxido de cálcio, essencial para sua eficácia antibacteriana e anti-inflamatória (Sfeir et al., 2021; Silva et al., 2021). Alguns autores questionam a adaptabilidade do método de solubilidade da norma ISO aos cimentos bioativos, destacando a necessidade de desenvolver novas metodologias de avaliação (Aminoshariae et al., 2022). No entanto, outros consideram que as normas ISO estão continuamente sendo atualizadas para refletir os avanços no campo, embora ajustes possam ser necessários para os cimentos bioativos (Silva et al., 2021).

Em conclusão, os cimentos de obturação à base de silicato de cálcio levantam preocupações em termos de solubilidade. No entanto, estudos *in vitro* e *in vivo* são necessários para confirmar ou refutar essa hipótese.

Dificuldade de retratamento: Várias pesquisas demonstraram que os cimentos de obturação à base de silicato de cálcio, uma vez endurecidos, são extremamente difíceis de remover com técnicas de retratamento convencionais (Arul et al., 2021)

A sua significativa dureza e profunda impregnação nos túbulos dentinários tornam a sua remoção completa quase impossível, e nenhum dos solventes atualmente disponíveis consegue amolecê-los. Além disso, os acompanhamentos a curto prazo em estudos e relatos de casos não fornecem evidências suficientes para afirmar que as propriedades biológicas e físico-químicas desses novos cimentos eliminarão a necessidade de retratamento futuro (Zhekov & Stefanova, 2020).

De facto, no futuro, os profissionais podem-se deparar-se com casos em que não conseguem retratar adequadamente dentes sintomáticos ou com lesões periapicais sem recorrer a uma intervenção cirúrgica, como cirurgia retrograda ou até mesmo extração. Além disso, múltiplos fatores podem contribuir para o surgimento de sintomas e lesões, como infiltrações coronárias devido a restaurações protéticas tardias, fraturas, reabsorções, traumas, entre outros.

A principal preocupação dos profissionais reside na dificuldade de remover esses novos cimentos de obturação, especialmente quando o cone de guta-percha é mais curto que o comprimento de trabalho (Hess et al., 2011).

No entanto, o uso de instrumentos motorizados, em comparação com instrumentos manuais, demonstrou uma eficácia superior e uma redução no tempo de tratamento para a limpeza dos canais radiculares. Protocolos adicionais, como o uso do XP-endo Finisher R e a irrigação passiva por ultrassom ou ativada por laser, também podem melhorar a remoção dos materiais de obturação e reduziram o volume de materiais residuais nas paredes dos canais (Katakidis et al., 2023).

Para enfrentar esses desafios, é imperativo que os fabricantes desenvolvam solventes e técnicas de retratamento adequados para remover eficazmente esses novos cimentos de obturação.

Custo: A questão do custo é um dos principais desafios para a adoção dos cimentos biocerâmicos na prática dentária geral, sendo geralmente mais elevado do que o dos cimentos tradicionais.

No entanto, esse custo varia consideravelmente dependendo do tipo de cimento, de sua embalagem, do fornecedor e da quantidade encomendada. A embalagem em seringa auto-mistura geralmente representa a opção mais cara. Optar por formas de espátula ou vibratórias pode parecer mais econômico. No entanto, o uso de uma seringa pode reduzir as perdas de material. Além disso, é essencial considerar a compatibilidade do cimento com cones de guta-percha clássicos. (M. Ree & R. Schwartz, 2017)

Portanto, é necessário calcular cuidadosamente o custo-benefício em cada consultório dentário para facilitar a integração desses novos biomateriais na prática diária.

III Conclusões

O presente trabalho demonstrou que os cimentos biocerâmicos apresentam propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas originais, aproximando-se das características do cimento ideal descrito por Grossman incluindo:

- Reação de presa em ambiente húmido,
- Biocompatibilidade devido à presença de fosfato de cálcio em sua composição,
- Bioatividade e estimulação da biomineralização,
- Boas capacidades de espalhamento e selamento,
- Resistência mecânica, incluindo à fratura,
- Condicionamento prático e ausência de retração de presa,
- Descoloração mínima comparável à causada pelos cimentos de obturação convencionais e pelos cimentos de obturação à base de resina,
- Atividade antibacteriana e tolerância aos tecidos periapicais.

No entanto, as discrepâncias observadas nos estudos *in vitro*, a falta de estudos *in vivo* e a limitada visão retrospectiva dos relatos de casos requerem uma discussão aprofundada. Estes factores impedem uma avaliação precisa da eficácia a longo prazo destes cimentos e tornam os resultados clínicos difíceis de interpretar.

Além disso, subsistem preocupações quanto aos valores elevados de solubilidade, dificuldade de retratamento, o que constitui uma grande desvantagem.

Para o futuro, é, por conseguinte, crucial realizar investigações clínicas mais aprofundadas e mais investigação para modificar e desenvolver estes novos biomateriais. Isto ajudará a ultrapassar os restantes desafios na procura do cimento ideal.

Referências bibliográficas

- Abu Zeid, S. T., & Alnoury, A. (2023). Characterisation of the Bioactivity and the Solubility of a New Root Canal Sealer. *International Dental Journal*, 73(5), 760–769. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2023.04.003>
- AlBakhakh, B., Al-Saedi, A., Al-Tae, R., & Nahidh, M. (2022). Rapid Apical Healing with Simple Obturation Technique in Response to a Calcium Silicate-Based Filling Material. *International Journal of Dentistry*, 2022, 6958135. <https://doi.org/10.1155/2022/6958135>
- Alberdi Koki, J., Martin, G., Risso, L., & Kaplan, A. (2023). “Effect of Heat Generated by Endodontic Obturation Techniques on Bond Strength of Bioceramic Sealers to Dentine”. *Journal of Endodontics*. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2023.08.021>
- Al-Haddad, A., & Aziz, Z. A. C. A. (2016). Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. In *International Journal of Biomaterials* (Vol. 2016). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2016/9753210>
- Al-Hiyasat, A. S., & Alfirjani, S. A. (2019). The effect of obturation techniques on the push-out bond strength of a premixed bioceramic root canal sealer. *Journal of Dentistry*, 89, 103169. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.07.007>
- Al-Hiyasat, A. S., Sawalha, A. M., & Taha, N. A. (2023). The effect of sealer type and obturation technique on the fracture resistance of endodontically treated roots. *Clinical Oral Investigations*, 27(12), 7359–7367. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05326-2>
- Almeida, L. H., Gomes, A. P. N., Gastmann, A. H., Pola, N. M., Moraes, R. R., Morgental, R. D., Cava, S. S., Felix, A. O. C., & Pappen, F. G. (2019). Bone tissue response to an MTA-based endodontic sealer, and the effect of the addition of calcium aluminate and silver particles. *International Endodontic Journal*, 52(10), 1446–1456. <https://doi.org/10.1111/iej.13135>
- Almeida, M. M., Rodrigues, C. T., Matos, A. A., Carvalho, K. K. T., Silva, E. J. N. L., Duarte, M. A. H., Oliveira, R. C., & Bernardineli, N. (2020). Analysis of the physicochemical properties, cytotoxicity and volumetric changes of AH Plus, MTA

- Fillapex and TotalFill BC Sealer. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 12(11), e1058–e1065. <https://doi.org/10.4317/jced.57527>
- Alotaibi, R., Altuwaijri, S., & Ahmed, DoaaR. M. (2019). The degree of crown discoloration induced by a bioceramic and other conventional endodontic sealers. *Saudi Endodontic Journal*, 9(3), 192. https://doi.org/10.4103/sej.sej_139_18
- Aminoshariae, A., Primus, C., & Kulild, J. C. (2022). Tricalcium silicate cement sealers: Do the potential benefits of bioactivity justify the drawbacks? *Journal of the American Dental Association (1939)*, 153(8), 750–760. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2022.01.004>
- An, Y., Ferretti, M., Bresler, R., Pham, E., & Ferretti, G. A. (2024). Biodentine as a pulpotomy medicament for primary molars: a retrospective chart review. *The Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 48(1), 85–90. <https://doi.org/10.22514/jocpd.2024.011>
- Arul, B., Varghese, A., Mishra, A., Elango, S., Padmanaban, S., & Natanasabapathy, V. (2021). Retrieval of bioceramic-based sealers in comparison with epoxy resin-based sealer assessed using microcomputed tomography: A systematic review of laboratory-based studies. *Journal of Conservative Dentistry*, 24(5), 421. https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_376_21
- Asawaworarit, W., Pinyosopon, T., & Kijssamanmith, K. (2020). Comparison of apical sealing ability of bioceramic sealer and epoxy resin-based sealer using the fluid filtration technique and scanning electron microscopy. *Journal of Dental Sciences*, 15(2), 186–192. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2019.09.010>
- Banphakarn, N., Yanpiset, K., & Banomyong, D. (2019). Shear bond strengths of calcium silicate-based sealer to dentin and calcium silicate-impregnated gutta-percha. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 10(4), e12444. <https://doi.org/10.1111/jicd.12444>
- Bardini, G., Casula, L., Ambu, E., Musu, D., Mercadè, M., & Cotti, E. (2021). A 12-month follow-up of primary and secondary root canal treatment in teeth obturated with a hydraulic sealer. *Clinical Oral Investigations*, 25(5), 2757–2764. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03590-0>

- BAUMGARTNER, J., WATTS, C., & XIA, T. (2000). Occurrence of *Candida albicans* in Infections of Endodontic Origin. *Journal of Endodontics*, 26(12), 695–698. <https://doi.org/10.1097/00004770-200012000-00003>
- Camilleri, J. (2017). Will Bioceramics be the Future Root Canal Filling Materials? *Current Oral Health Reports*, 4(3), 228–238. <https://doi.org/10.1007/s40496-017-0147-x>
- Camilleri, J. (2020). Classification of Hydraulic Cements Used in Dentistry. *Frontiers in Dental Medicine*, 1. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2020.00009>
- Camilleri, J., Ch, B. D., & Phil, M. (n.d.). *PERSPECTIVES CLINIQUES BioRoot™ RCS Endo sealer ou un produit de remplissage biologique ?*
- Camps, J., Jeanneau, C., El Ayachi, I., Laurent, P., & About, I. (2015). Bioactivity of a Calcium Silicate-based Endodontic Cement (BioRoot RCS): Interactions with Human Periodontal Ligament Cells In Vitro. *Journal of Endodontics*, 41(9), 1469–1473. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.04.011>
- Candeiro, G. T. D. M., Correia, F. C., Duarte, M. A. H., Ribeiro-Siqueira, D. C., & Gavini, G. (2012). Evaluation of radiopacity, pH, release of calcium ions, and flow of a bioceramic root canal sealer. *Journal of Endodontics*, 38(6), 842–845. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.02.029>
- Cardinali, F., & Camilleri, J. (2023). A critical review of the material properties guiding the clinician's choice of root canal sealers. In *Clinical Oral Investigations* (Vol. 27, Issue 8, pp. 4147–4155). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05140-w>
- Cardoso, O. S., Meier, M. M., Carvalho, E. M., Ferreira, P. V. C., Gavini, G., Zago, P. M. W., Grazziotin-Soares, R., Menezes, A. S. de, Carvalho, C. N., & Bauer, J. (2022). Synthesis and characterization of experimental endodontic sealers containing bioactive glasses particles of NbG or 45S5. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104971>
- Castro-Jara, S., Antilef, B., Osbén, C., Alcántara, R., Fraga, M., Nova-Lamperti, E., & Sánchez-Sanhueza, G. (2023). Bioactivity analysis of calcium silicate-based

- sealers and repair cements on the phenotype and cytokine secretion profile of CD14⁺ monocytes: An ex vivo study. *International Endodontic Journal*, 56(1), 80–91. <https://doi.org/10.1111/iej.13847>
- Celikten, B., F Uzuntas, C., I Orhan, A., Tufenkci, P., Misirli, M., O Demiralp, K., & Orhan, K. (2015). Micro-CT assessment of the sealing ability of three root canal filling techniques. *Journal of Oral Science*, 57(4), 361–366. <https://doi.org/10.2334/josnusd.57.361>
- Chen, B., Haapasalo, M., Mobuchon, C., Li, X., Ma, J., & Shen, Y. (2020). Cytotoxicity and the Effect of Temperature on Physical Properties and Chemical Composition of a New Calcium Silicate-based Root Canal Sealer. *Journal of Endodontics*, 46(4), 531–538. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.12.009>
- Chybowski, E. A., Glickman, G. N., Patel, Y., Fleury, A., Solomon, E., & He, J. (2018). Clinical Outcome of Non-Surgical Root Canal Treatment Using a Single-cone Technique with Endosequence Bioceramic Sealer: A Retrospective Analysis. *Journal of Endodontics*, 44(6), 941–945. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.02.019>
- Crozeta, B. M., Lopes, F. C., Menezes Silva, R., Silva-Sousa, Y. T. C., Moretti, L. F., & Sousa-Neto, M. D. (2021). Retreatability of BC Sealer and AH Plus root canal sealers using new supplementary instrumentation protocol during non-surgical endodontic retreatment. *Clinical Oral Investigations*, 25(3), 891–899. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03376-4>
- de Almeida-Junior, L. A., de Campos Chaves Lamarque, G., Herrera, H., Arnez, M. F. M., Lorencetti-Silva, F., Silva, R. A. B., Silva, L. A. B., & Paula-Silva, F. W. G. (2024). Analysis of the cytotoxicity and bioactivity of CeraSeal, BioRoot™ and AH Plus® sealers in pre-osteoblast lineage cells. *BMC Oral Health*, 24(1), 262. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04021-2>
- Dewi, A., Upara, C., Sastraruji, T., & Louwakul, P. (2022). Effect of a heat-based root canal obturation technique on push-out bond strength of the classical bioceramic and new HiFlow sealer. *Australian Endodontic Journal : The Journal of the Australian Society of Endodontology Inc*, 48(1), 116–120. <https://doi.org/10.1111/aej.12602>

- Dong, X., & Xu, X. (2023). Bioceramics in Endodontics: Updates and Future Perspectives. In *Bioengineering* (Vol. 10, Issue 3). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/bioengineering10030354>
- Donnermeyer, D., Bürklein, S., Dammaschke, T., & Schäfer, E. (2019). Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. In *Odontology* (Vol. 107, Issue 4, pp. 421–436). Springer Tokyo. <https://doi.org/10.1007/s10266-018-0400-3>
- DR. GABRIELA MONTERO. (2018). Les biocéramiques et leur utilisation en endodontie. *Le Fil Dentaire* .
- Drs Ken Koch, D. B. & A. A. N. U. (2013). *A review of bioceramic technology in endodontics*. 6–13.
- Drukteinis, S., & Camilleri, J. (n.d.). *Matériaux biocéramiques en endodontie clinique*.
- Ekici, M. A., Ekici, A., Kaskatı, T., & Helvacıoğlu Kıvanç, B. (2019). Tooth crown discoloration induced by endodontic sealers: a 3-year ex vivo evaluation. *Clinical Oral Investigations*, 23(5), 2097–2102. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2629-1>
- Elsayed, M. A., Hassanien, E. E., & Elgendy, A. A. E. (2021). Ageing of TotalFill BC Sealer and MTA Fillapex in Simulated Body Fluid. *European Endodontic Journal*, 6(2), 183–188. <https://doi.org/10.14744/eej.2020.43043>
- Estrela, C., Decurcio, D. de A., Rossi-Fedele, G., Silva, J. A., Guedes, O. A., & Borges, Á. H. (2018). Root perforations: a review of diagnosis, prognosis and materials. *Brazilian Oral Research*, 32(suppl 1), e73. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0073>
- Faria-Júnior, N. B., Tanomaru-Filho, M., Berbert, F. L. C. V, & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2013). Antibiofilm activity, pH and solubility of endodontic sealers. *International Endodontic Journal*, 46(8), 755–762.
<https://doi.org/10.1111/iej.12055>
- Forghani, M., Gharechahi, M., & Karimpour, S. (2016). In vitro evaluation of tooth discoloration induced by mineral trioxide aggregate Fillapex and iRoot SP endodontic sealers. *Australian Endodontic Journal : The Journal of the Australian Society of Endodontology Inc*, 42(3), 99–103. <https://doi.org/10.1111/aej.12144>

- Gadekar, A. D., Jadhav, A., Sharma, A., Patil, R., Shinde, M., & Ingale, V. (2023). Comparative Evaluation of Fracture Resistance in Endodontically Treated Teeth Using Epoxy Resin-based Sealer and Bioceramic Sealer: An In vitro Study. *Journal of the International Clinical Dental Research Organization*, 15(2), 129–134. https://doi.org/10.4103/jicdro.jicdro_67_23
- Haapasalo, M., Parhar, M., Huang, X., Wei, X., Lin, J., & Shen, Y. (2015). Clinical use of bioceramic materials. *Endodontic Topics*, 32(1), 97–117. <https://doi.org/10.1111/etp.12078>
- Heran, J., Khalid, S., Albaaj, F., Tomson, P. L., & Camilleri, J. (2019). The single cone obturation technique with a modified warm filler. *Journal of Dentistry*, 89, 103181. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.103181>
- Hess, D., Solomon, E., Spears, R., & He, J. (2011). Retreatability of a Bioceramic Root Canal Sealing Material. *Journal of Endodontics*, 37(11), 1547–1549. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.08.016>
- Ioannidis, K., Mistakidis, I., Beltes, P., & Karagiannis, V. (2013). Spectrophotometric analysis of crown discoloration induced by MTA- and ZnOE-based sealers. *Journal of Applied Oral Science : Revista FOB*, 21(2), 138–144. <https://doi.org/10.1590/1678-7757201302254>
- Isabella Marian Lena, 1 Cheiene Deriê Roncaglio Bagnara, 2. (n.d.). *Tooth discoloration induced by endodontic sealers and cervical limit: 1-year in vitro evaluation*.
- Jafari, F., Samadi Kafil, H., Jafari, S., Aghazadeh, M., & Momeni, T. (2016). Antibacterial Activity of MTA Fillapex and AH 26 Root Canal Sealers at Different Time Intervals. *Iranian Endodontic Journal*, 11(3), 192–197. <https://doi.org/10.7508/iej.2016.03.009>
- Jung, S., Sielker, S., Hanisch, M. R., Libricht, V., Schäfer, E., & Dammaschke, T. (2018). Cytotoxic effects of four different root canal sealers on human osteoblasts. *PloS One*, 13(3), e0194467. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194467>
- Kapralos, V., Koutroulis, A., Ørstavik, D., Sunde, P. T., & Rukke, H. V. (2018). Antibacterial Activity of Endodontic Sealers against Planktonic Bacteria and Bacteria in Biofilms. *Journal of Endodontics*, 44(1), 149–154. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.08.023>

- Karam, M., Faraj, M., Mhanna, R., Khalil, I., Habib, M., Makhoul, M., & Zogheib, C. (2023). Effect of heat application on the physicochemical properties of new endodontic sealers: an in vitro and SEM study. *Odontology*.
<https://doi.org/10.1007/s10266-023-00871-4>
- Katakidis, A., Kodonas, K., Fardi, A., & Gogos, C. (2023a). A scientometric, bibliometric, and thematic map analysis of hydraulic calcium silicate root canal sealers. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 48(4).
<https://doi.org/10.5395/rde.2023.48.e41>
- Katakidis, A., Kodonas, K., Fardi, A., & Gogos, C. (2023b). A scientometric, bibliometric, and thematic map analysis of hydraulic calcium silicate root canal sealers. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 48(4).
<https://doi.org/10.5395/rde.2023.48.e41>
- Khalil, I., Naaman, A., & Camilleri, J. (2016). Properties of Tricalcium Silicate Sealers. *Journal of Endodontics*, 42(10), 1529–1535.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.06.002>
- KOMABAYASHI, T., COLMENAR, D., CVACH, N., BHAT, A., PRIMUS, C., & IMAI, Y. (2020). Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dental Materials Journal*, 39(5), 703–720. <https://doi.org/10.4012/dmj.2019-288>
- Koo, J., Kwak, S. W., & Kim, H. C. (2023). Differences in setting time of calcium silicate-based sealers under different test conditions. *Journal of Dental Sciences*, 18(3), 1042–1046. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2022.11.029>
- Kooanantkul, C., Shelton, R. M., & Camilleri, J. (2023). Comparison of obturation quality in natural and replica teeth root-filled using different sealers and techniques. *Clinical Oral Investigations*, 27(5), 2407–2417.
<https://doi.org/10.1007/s00784-023-04884-9>
- Kwak, S. W., Koo, J., Song, M., Jang, I. H., Gambarini, G., & Kim, H. C. (2023). Physicochemical Properties and Biocompatibility of Various Bioceramic Root Canal Sealers: In Vitro Study. *Journal of Endodontics*, 49(7), 871–879.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2023.05.013>

- Lacey, S., Pitt Ford, T. R., Watson, T. F., & Sherriff, M. (2005). A study of the rheological properties of endodontic sealers. *International Endodontic Journal*, 38(8), 499–504. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.00953.x>
- Lee, B.-N., Hong, J.-U., Kim, S.-M., Jang, J.-H., Chang, H.-S., Hwang, Y.-C., Hwang, I.-N., & Oh, W.-M. (2019). Anti-inflammatory and Osteogenic Effects of Calcium Silicate-based Root Canal Sealers. *Journal of Endodontics*, 45(1), 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.09.006>
- Lee, J. K., Kwak, S. W., Ha, J.-H., Lee, W., & Kim, H.-C. (2017). Physicochemical Properties of Epoxy Resin-Based and Bioceramic-Based Root Canal Sealers. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2017, 2582849. <https://doi.org/10.1155/2017/2582849>
- Li, H., Liu, H., & Shen, Y. (2024). Do bioceramic materials increase fracture resistance of endodontically treated teeth? In *Asian Journal of Surgery*. Elsevier (Singapore) Pte Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2024.01.087>
- Lim, M., Jung, C., Shin, D.-H., Cho, Y., & Song, M. (2020). Calcium silicate-based root canal sealers: a literature review. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 45(3). <https://doi.org/10.5395/rde.2020.45.e35>
- López-García, S., Pecci-Lloret, M. R., Guerrero-Gironés, J., Pecci-Lloret, M. P., Lozano, A., Llena, C., Rodríguez-Lozano, F. J., & Forner, L. (2019). Comparative Cytocompatibility and Mineralization Potential of Bio-C Sealer and TotalFill BC Sealer. *Materials*, 12(19), 3087. <https://doi.org/10.3390/ma12193087>
- Lyu, W. J., Bai, W., Wang, X. Y., & Liang, Y. H. (2022). Physicochemical properties of a novel bioceramic silicone-based root canal sealer. *Journal of Dental Sciences*, 17(2), 831–835. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2021.09.034>
- Mangat, P., Azhar, S., Rathore, G., Masarat, F., Yand, N., & Sah, S. (2021). Bioceramics in endodontics: A review. *International Journal of Oral Care and Research*, 9(2), 59. https://doi.org/10.4103/INJO.INJO_13_21
- Mann, A., Zeng, Y., Kirkpatrick, T., van der Hoeven, R., Silva, R., Letra, A., & Chaves de Souza, L. (2022). Evaluation of the Physicochemical and Biological Properties of EndoSequence BC Sealer HiFlow. *Journal of Endodontics*, 48(1), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.10.001>

- Marciano, M. A., Duarte, M. A. H., & Camilleri, J. (2015). Dental discoloration caused by bismuth oxide in MTA in the presence of sodium hypochlorite. *Clinical Oral Investigations*, *19*(9), 2201–2209. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1466-8>
- Maru, V., Dixit, U., Patil, R. S. B., & Parekh, R. (2021). Cytotoxicity and Bioactivity of Mineral Trioxide Aggregate and Bioactive Endodontic Type Cements: A Systematic Review. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, *14*(1), 30–39. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-1880>
- Mestieri, L. B., Zaccara, I. M., Pinheiro, L. S., Barletta, F. B., Kopper, P. M. P., & Grecca, F. S. (2020). Cytocompatibility and cell proliferation evaluation of calcium phosphate-based root canal sealers. *Restorative Dentistry & Endodontics*, *45*(1). <https://doi.org/10.5395/rde.2020.45.e2>
- Morgental, R. D., Vier-Pelisser, F. V, Oliveira, S. D., Antunes, F. C., Cogo, D. M., & Kopper, P. M. P. (2011). Antibacterial activity of two MTA-based root canal sealers. *International Endodontic Journal*, *44*(12), 1128–1133. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01931.x>
- M.Ree & R.Schwartz. (2017). Clinical applications of bioceramic materials in endodontics. *Quintessence Endo*. 2017.
- Munitić, M. S., Peričić, T. P., Utrobičić, A., Bago, I., & Puljak, L. (2019). Antimicrobial efficacy of commercially available endodontic bioceramic root canal sealers: A systematic review. *PLoS ONE*, *14*(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223575>
- Nagas, E., Uyanik, M. O., Eymirli, A., Cehreli, Z. C., Vallittu, P. K., Lassila, L. V. J., & Durmaz, V. (2012). Dentin moisture conditions affect the adhesion of root canal sealers. *Journal of Endodontics*, *38*(2), 240–244. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.09.027>
- Prati, C., & Gandolfi, M. G. (2015). Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dental Materials : Official Publication of the Academy of Dental Materials*, *31*(4), 351–370. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.01.004>

- Prüllage, R. K., Urban, K., Schäfer, E., & Dammaschke, T. (2016). Material Properties of a Tricalcium Silicate-containing, a Mineral Trioxide Aggregate-containing, and an Epoxy Resin-based Root Canal Sealer. *Journal of Endodontics*, 42(12), 1784–1788. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.09.018>
- Rekha, R., Kavitha, R., Venkitachalam, R., Prabath, S. V., Deepthy, S., & Krishnan, V. (2023). Comparison of the sealing ability of bioceramic sealer against epoxy resin based sealer: A systematic review & meta-analysis. In *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research* (Vol. 13, Issue 1, pp. 28–35). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2022.10.006>
- S., K., M. D., R. K., D., J. M., V., B., & P., M. (2022). *Viscous Flow and Its Effect* (pp. 129–141). <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-4230-2.ch006>
- Salles, L. P., Gomes-Cornélio, A. L., Guimarães, F. C., Herrera, B. S., Bao, S. N., Rossa-Junior, C., Guerreiro-Tanomaru, J. M., & Tanomaru-Filho, M. (2012). Mineral trioxide aggregate-based endodontic sealer stimulates hydroxyapatite nucleation in human osteoblast-like cell culture. *Journal of Endodontics*, 38(7), 971–976. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.02.018>
- Schembri Wismayer, P., Lung, C. Y. K., Rappa, F., Cappello, F., & Camilleri, J. (2016). Assessment of the interaction of Portland cement-based materials with blood and tissue fluids using an animal model. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep34547>
- Seron, M. A., Nunes, G. P., Ferrisse, T. M., Strazzi-Sahyon, H. B., dos Santos, P. H., Gomes-Filho, J. E., Cintra, L. T. A., & Sivieri-Araujo, G. (2024). Influence of bioceramic sealers on dentinal tubule penetration and antimicrobial effectiveness: a systematic review and meta-analysis of in vitro studies. In *Odontology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s10266-024-00904-6>
- Seyda Ersahan & Cumhur Aydin. (2012). *solubility and apical sealing characteristics of a new calcium silicate-based root canal sealer in comparison to calcium hydroxyde-, methacrylate resin- and epoxy resin-based sealers* .
- Sfeir, G., Zogheib, C., Patel, S., Giraud, T., Nagendrababu, V., & Bukiet, F. (2021). Calcium Silicate-Based Root Canal Sealers: A Narrative Review and Clinical

Perspectives. *Materials (Basel, Switzerland)*, 14(14).

<https://doi.org/10.3390/ma14143965>

Shakouie, S., Shahi, S., Samiei, M., Milani, A. S., Reyhani, M. F., Paksefat, S., Eskandarinekhad, M., & Ghasemi, N. (2017). Effects of different intra canal medicaments on the push out bond strength of endodontic sealers. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 9(3), e443–e447.

<https://doi.org/10.4317/jced.53522>

Sheela, S., Nassar, M., AlGhalban, F. M., & Gorduysus, M. O. (2023). In Vitro Cytotoxicity and Mineralization Potential of an Endodontic Bioceramic Material. *European Journal of Dentistry*, 17(2), 548–555. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1750778>

Silva, E. J. N. L., Cardoso, M. L., Rodrigues, J. P., De-Deus, G., & Fidalgo, T. K. da S. (2021). Solubility of bioceramic- and epoxy resin-based root canal sealers: A systematic review and meta-analysis. *Australian Endodontic Journal : The Journal of the Australian Society of Endodontology Inc*, 47(3), 690–702.

<https://doi.org/10.1111/aej.12487>

Simon, S., & Flouriot, A. C. (n.d.). BioRoot™ RCS a new biomaterial for root canal filling. In *INTERNATIONAL DENTISTRY-AFRICAN EDITION* (Vol. 6, Issue 2).

Singh, S., Srivastava, B., Gupta, K., Gupta, N., Singh, R., & Singh, S. (2020). Comparative evaluation of antifungal efficacy of five root canal sealers against clinical isolates of candida albicans: A microbiological study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 13(2), 119–123. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-1718>

Sinsarekul, C., & Hiran-us, S. (2022). Comparison of the efficacy of three different supplementary cleaning protocols in root-filled teeth with a bioceramic sealer after retreatment—a micro-computed tomographic study. *Clinical Oral Investigations*, 26(4), 3515–3521. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04320-w>

Sokolonski, A. R., Amorim, C. F., Almeida, S. R., Lacerda, L. E., Araújo, D. B., Meyer, R., & Portela, R. D. (2023). Comparative antimicrobial activity of four different endodontic sealers. *Brazilian Journal of Microbiology*, 54(3), 1717–1721.

<https://doi.org/10.1007/s42770-023-01003-4>

- Souza, L. C. de, Neves, G. S. T., Kirkpatrick, T., Letra, A., & Silva, R. (2023). Physicochemical and Biological Properties of AH Plus Bioceramic. *Journal of Endodontics*, 49(1), 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2022.10.009>
- Surya Raghavendra, S., Jadhav, G. R., Gathani, K. M., & Kotadia, P. (2017). BIOCERAMICS IN ENDODONTICS – A REVIEW. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, 51(0). <https://doi.org/10.17096/jiufd.63659>
- Thomas.j. (2017). Les ciments biocéramiques pour obturation canalaire. *Dentoscope* (178):40-4.
- Viapiana, R., Moinzadeh, A. T., Camilleri, L., Wesselink, P. R., Tanomaru Filho, M., & Camilleri, J. (2016). Porosity and sealing ability of root fillings with gutta-percha and BioRoot RCS or AH Plus sealers. Evaluation by three ex vivo methods. *International Endodontic Journal*, 49(8), 774–782. <https://doi.org/10.1111/iej.12513>
- Wanees Amin, S. A., Seyam, R. S., & El-Samman, M. A. (2012). The effect of prior calcium hydroxide intracanal placement on the bond strength of two calcium silicate-based and an epoxy resin-based endodontic sealer. *Journal of Endodontics*, 38(5), 696–699. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.02.007>
- Wang, X., Xiao, Y., Song, W., Ye, L., Yang, C., Xing, Y., & Yuan, Z. (2023). Clinical application of calcium silicate-based bioceramics in endodontics. In *Journal of Translational Medicine* (Vol. 21, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s12967-023-04550-4>
- Wang, Z., Shen, Y., & Haapasalo, M. (2021). Antimicrobial and antibiofilm properties of bioceramic materials in endodontics. In *Materials* (Vol. 14, Issue 24). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ma14247594>
- Washio, Morotomi, Yoshii, & Kitamura. (2019). Bioactive Glass-Based Endodontic Sealer as a Promising Root Canal Filling Material without Semisolid Core Materials. *Materials*, 12(23), 3967. <https://doi.org/10.3390/ma12233967>
- Xuereb, M., Vella, P., Damidot, D., Sammut, C. V., & Camilleri, J. (2015). In situ assessment of the setting of tricalcium silicate-based sealers using a dentin pressure model. *Journal of Endodontics*, 41(1), 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.09.015>

- Yang, R., Tian, J., Huang, X., Lei, S., Cai, Y., Xu, Z., & Wei, X. (2021). A comparative study of dentinal tubule penetration and the retreatability of EndoSequence BC Sealer HiFlow, iRoot SP, and AH Plus with different obturation techniques. *Clinical Oral Investigations*, 25(6), 4163–4173. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03747-x>
- Zafar, K., Jamal, S., & Ghafoor, R. (2020). Bio-active cements-Mineral Trioxide Aggregate based calcium silicate materials: a narrative review. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 0, 1. <https://doi.org/10.5455/JPMA.16942>
- Zavattini, A., Knight, A., Foschi, F., & Mannocci, F. (2020). Outcome of root canal treatments using a new calcium silicate root canal sealer: A non-randomized clinical trial. *Journal of Clinical Medicine*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/jcm9030782>
- Zhang, H., Shen, Y., Ruse, N. D., & Haapasalo, M. (2009). Antibacterial Activity of Endodontic Sealers by Modified Direct Contact Test Against *Enterococcus faecalis*. *Journal of Endodontics*, 35(7), 1051–1055. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.04.022>
- Zhang, W., Li, Z., & Peng, B. (2009). Assessment of a new root canal sealer's apical sealing ability. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, 107(6). <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.02.024>
- Zhang, W., Li, Z., & Peng, B. (2010a). Effects of iRoot SP on mineralization-related genes expression in MG63 Cells. *Journal of Endodontics*, 36(12), 1978–1982. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.08.038>
- Zhang, W., Li, Z., & Peng, B. (2010b). Effects of iRoot SP on mineralization-related genes expression in MG63 Cells. *Journal of Endodontics*, 36(12), 1978–1982. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.08.038>
- Zhang, W., Li, Z., & Peng, B. (2010c). Ex vivo cytotoxicity of a new calcium silicate-based canal filling material. *International Endodontic Journal*, 43(9), 769–774. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01733.x>

- Zhekov, K. I., & Stefanova, V. P. (2020). Retreatability of Bioceramic Endodontic Sealers: a Review. *Folia Medica*, 62(2), 258–264. <https://doi.org/10.3897/folmed.62.e47690>
- Zhekov, K. I., & Stefanova, V. P. (2021). Definition and Classification of Bioceramic Endodontic Sealers. *Folia Medica*, 63(6), 901–904. <https://doi.org/10.3897/folmed.63.e58912>
- Zhou, H. M., Shen, Y., Zheng, W., Li, L., Zheng, Y. F., & Haapasalo, M. (2013). Physical properties of 5 root canal sealers. *Journal of Endodontics*, 39(10), 1281–1286. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.06.012>
- Zordan-Bronzel, C. L., Tanomaru-Filho, M., Torres, F. F. E., Chávez-Andrade, G. M., Rodrigues, E. M., & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2021). Physicochemical properties, cytocompatibility and antibiofilm activity of a new calcium silicate sealer. *Brazilian Dental Journal*, 32(4), 8–18. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202103314>