

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Ciências de Saúde
Departamento de Odontologia



Trabalho de Conclusão de Curso

Biomateriais empregados como cimentos endodônticos: agregado de trióxido mineral (MTA), cimento biocerâmico, cimento à base de silicato de cálcio ou cimento hidráulico? Uma revisão de literatura

Amanda de Andrade Silva

Brasília, 06 de julho de 2023

Amanda de Andrade Silva

Biomateriais empregados como cimentos endodônticos: agregado de trióxido mineral (MTA), cimento biocerâmico, cimento à base de silicato de cálcio ou cimento hidráulico? Uma revisão de literatura

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Odontologia da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a conclusão do curso de Graduação em Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. Jacy Ribeiro de Carvalho Junior

Brasília, 2023

Amanda de Andrade Silva

Biomateriais empregados como cimentos endodônticos: agregado de trióxido mineral (MTA), cimento biocerâmico, cimento à base de silicato de cálcio ou cimento hidráulico? Uma revisão de literatura

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial para a conclusão do curso de Graduação em Odontologia, Departamento de Odontologia da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília.

Data da defesa: 06 de julho de 2023

Banca examinadora:

Prof. Dr. Jacy Ribeiro de Carvalho Junior (Orientador)

Profa. Dra. Paola Ferreira Barbosa (Membro Titular)

Prof. Dr. Alysson Martins Almeida Silva (Membro Titular)

Profa. Dra. Taia Maria Berto Rezende (Suplente)

Aos meus pais, que sempre fizeram do ordinário extraordinário

AGRADECIMENTOS

À Deus, que sempre esteve presente guiando meus passos. Mesmo nos momentos de tribulações, a esperança nEle me conforta e dá fortaleza.

À minha família, maior porto seguro e base. Minha mãe, Maria do Carmo e meu pai Edson por me apoiarem em todas as situações, mesmo quando eu não acreditava em mim mesma e lutaram por esse sonho da graduação junto comigo. Devo tudo o que sou a educação, amor e dedicação deles comigo. Meu irmão, João Gabriel, presente como o maior companheiro que uma irmã poderia ter.

Aos professores que inspiraram e pautaram o meu caminho do aprendizado: meu orientador, Prof^o Jacy de Carvalho e Prof^a Vanessa Torres pelos conselhos e amizade.

Aos queridíssimos colegas de sala da turma 76, companheiros desde o meu ingresso na UnB, que sempre me auxiliaram nas dificuldades e foram um ombro amigo, bem como, companheiros na minha fase de adaptação em uma nova cidade, campus e universidade. Em especial, minha dupla, Luíza Ribeiro, por ter paciência comigo e ser tão boa no que faz para me ajudar e a todos a sua volta.

Ao MedCAI, médicos do Corpo e da Alma, que reafirmaram minha vocação ao me permitirem exercer de forma tão especial a odontologia no serviço aos que mais necessitam e as grandes amizades que fiz por intermédio desse lindo projeto, especialmente minha duplinha de odontopediatria, Bianca.

À amiga Karina Rodrigues, que sempre esteve presente me dando suporte, agradeço muito sua amizade.

Por fim, a todos os funcionários, servidores e técnicos do HuB que fazem o nosso aprendizado possível na clínica escola.

*“A educação é simplesmente a alma de uma sociedade
a passar de uma geração para a outra.”*

G. K. Chesterton

RESUMO

Diferentes tipos de cimentos endodônticos estão disponíveis para o Cirurgião-Dentista, porém, nos últimos anos, novos cimentos bioativos apresentados nas consistências densa e pastosa foram introduzidos no mercado. Em virtude das nomenclaturas atribuídas pelos fabricantes, controvérsias têm sido geradas quanto à classificação e aplicação clínica desses novos biomateriais. O objetivo dessa revisão foi apresentar a forma como a literatura tem abordado a classificação desses novos cimentos endodônticos bioativos. A literatura contemporânea tem utilizado diversos critérios para essa classificação, como composição ou reação química e, até mesmo, a aplicação clínica desses biomateriais. Nomenclaturas como “cimentos de agregado de trióxido mineral (MTA)”, “cimentos biocerâmicos”, “cimentos à base de silicato de cálcio” e “cimentos hidráulicos”, ao invés de esclarecerem, acabam por gerar mais dúvidas, pois não seguem os tradicionais critérios científicos adotados na classificação de demais outros materiais dentários, que são classificados basicamente com base em suas composições; nem cumprem o papel de definir uma classe específica para o material, gerando incertezas aos profissionais e estudantes de Odontologia. Assim, uma classificação com base na estrita composição química de cimentos endodônticos bioativos parece ser mais clara e propícia para definir esses biomateriais de uso endodôntico.

PALAVRAS-CHAVE: MTA; biocerâmico; silicato de cálcio; cimento hidráulico; composição; classificação

ABSTRACT

Different types of endodontic cements are available to the dentist, however, in the last years, new bioactive cements presented in dense and pasty consistencies have been introduced in the market. Due to the nomenclatures attributed by manufacturers, controversies have been generated regarding the classification and clinical application of these new biomaterials. The aim of this review was to present how the literature has approached the classification of these new bioactive endodontic cements. Contemporary literature has used several criteria for this classification, such as composition or chemical reaction, and even the clinical application of these biomaterials. Nomenclatures such as mineral trioxide aggregate cements (MTA), bioceramic cements, calcium silicate-based cements and hydraulic cements, instead of clarifying, end up generating more doubts, because they do not follow the traditional scientific criteria adopted in the classification of other dental materials, which are basically classified based on their compositions, nor fulfill the role of defining a specific class for the material, generating uncertainties for professionals and dental students. Thus, a classification based on the strict chemical composition of bioactive endodontic cements seems to be clearer and more appropriate to define these biomaterials for endodontic use.

KEYWORDS: MTA; bioceramic; calcium silicate; hydraulic cement; composition; classification.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	RELEVÂNCIA CLÍNICA.....	12
3	OBJETIVOS	12
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4	METODOLOGIA	13
5	REVISÃO	14
5.1	OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	19
6	DISCUSSÃO	24
7	CONCLUSÃO	27
	REFERÊNCIAS	28
	ANEXOS.....	Erro! Indicador não definido.

1 INTRODUÇÃO

A Endodontia é a especialidade da Odontologia que trata da prevenção, diagnóstico e tratamento das enfermidades da polpa e de suas repercussões sobre os tecidos da região perirradicular. O tratamento endodôntico tem o objetivo de preparar cirurgicamente o sistema de canais radiculares (SCR) a fim de preservar a saúde dos tecidos perirradiculares e/ou restabelecê-la, quando acometidos por processo patológico [1]. O tratamento endodôntico convencional consiste nas seguintes etapas: acesso à câmara pulpar, preparo e obturação do SCR [2]. Na fase de obturação deve-se obter um selamento apical e preenchimento dos SCR sem incorporar espaços vazios na massa obturadora [1]. Uma obturação bem-sucedida elimina a possibilidade de percolação (infiltração) de contaminantes no canal, como saliva, microrganismos e fluidos periapicais, além de aprisionar quaisquer bactérias remanescentes dentro do espaço do canal [3]. Dessa forma, existem inúmeros materiais e técnicas para obturação que, em sua maioria, empregam o uso de um material sólido e plástico para garantir o selamento completo, como os cones de guta percha e o cimento endodôntico. Atualmente existem cinco grupos principais de cimentos endodônticos, classificados com base em sua composição, como: à base de óxido de zinco e eugenol (OZE), à base de hidróxido de cálcio $[Ca(OH)_2]$ (HA), à base de ionômero de vidro (CIV), à base de resina (resinas epóxi, resina de salicilato e resina de metacrilato) e, os mais recentes, denominados por cimentos biocerâmicos [4].

Em determinadas situações clínicas, o interior do canal radicular pode ser exposto aos tecidos perirradiculares, exigindo que a massa obturadora tenha maior contato com esses tecidos após a terapia endodôntica. Geralmente, nesses casos, a área de interface entre o interior do canal radicular e os tecidos perirradiculares é mais extensa que a interface do forame apical de uma raiz com apicigênese completa - tratamento de polpa com vitalidade em um dente imaturo para permitir o crescimento radicular continuado e o fechamento apical [5]. Há também casos de reabsorções radiculares e de necessidade de tratamento endodôntico de dentes com rizogênese incompleta - elemento dental que apresenta-se radiograficamente com a extremidade da raiz aberta, podendo ser em decorrência de um trauma ou progressão cariiosa [6]. Desse modo, faz-se necessário que esse material obturador também apresente um conjunto

satisfatório de propriedades físicas, químicas e biológicas para desempenhar a função desejada, elimine microrganismos que permaneceram após o preparo químico-mecânico no interior dos canais radiculares, e estimule uma resposta adequada dos tecidos vivos por meio da neoformação de tecido mineralizado [7].

O termo “biomaterial” é atribuído à materiais que interagem com sistemas biológicos [8]. Eles podem ser tanto naturais quanto sintéticos, vivos ou não vivos, e são frequentemente utilizados em aplicações nas áreas de saúde para aumentar ou substituir uma função natural. Os biomateriais podem ser classificados com base no seu nível de biocompatibilidade como sendo bioativos, biodegradáveis, bioinertes ou biotolerantes [7, 9]. Todos interagem diretamente com o tecido vivo ao seu redor a partir de interação química do material com tecidos duros ou moles, induzindo a produção de uma substância biológica, sua liberação, ou melhorando a capacidade de cicatrização de um tecido, e assim por diante. Camilleri e colaboradores (2022) em um artigo de revisão, descreve o estudo de diversos materiais na Odontologia com o objetivo de encontrar o que tem a melhor capacidade de interagir com os tecidos dentários e perirradiculares. Dentre esses materiais, os autores citam o amalgâma de prata, cimentos à base de óxido de zinco e eugenol (OZE), cimentos de hidróxido de cálcio (HC), MTA, cimentos biocerâmicos, cimentos à base de silicato de cálcio, com um destaque para os cimentos, hidráulicos devido às suas características de hidratação, e principalmente pela formação de HC quando misturados com água [10]. A deposição desses materiais sobre os tecidos ajuda na interação celular com o material e na formação de hidroxiapatita (juntamente com o fluido tecidual). Essas características expandem a natureza reparadora para tecidos dentários e perirradiculares, como a polpa dentária, osso e cemento [10,11]. Portanto, o objetivo desse trabalho é auxiliar o profissional na escolha do melhor cimento endodôntico para o seu caso, e demonstrar que o possível melhor método de classificação desses cimentos seria por sua composição química.

2 RELEVÂNCIA CLÍNICA

Fornecer informações técnico-científicas contemporâneas ao Cirurgião-Dentista e ao estudante de Odontologia sobre a classificação e aplicação clínica de cimentos endodônticos bioativos.

3 OBJETIVOS

Realizar uma revisão narrativa apresentando a forma como a literatura tem abordado a classificação e aplicação clínica dos novos cimentos endodônticos bioativos.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Auxiliar os Cirurgiões-Dentistas, discentes e docentes da área de Odontologia a respeito das atualizações presentes na literatura sobre esses biomateriais endodônticos.

4 METODOLOGIA

Este trabalho trata-se de uma pesquisa bibliográfica do tipo narrativa realizada por meio da busca em artigos, teses e dissertações a respeito de materiais obturadores de uso na Endodontia denominados “cimentos”. Utilizou-se como critérios de inclusão trabalhos publicados na literatura nas bases de dados Scielo, Pubmed, Medline, correspondentes ao tema, nos idiomas inglês e português. A busca foi realizada tendo o seguinte questionamento como pergunta norteadora: “Como podem ser classificados materiais obturadores denominados como “cimentos endodônticos bioativos” de acordo com a composição ou reação química e, até mesmo, a aplicação clínica desses biomateriais?

Foram utilizadas as palavras chaves: “Bioceramics”, “calcium silicate”, “physicochemical properties”, “MTA”, “bioceramic endodontic”, “endodontics”, “root canal obturation” para seleção dos artigos. Não houve restrição de idioma. Os critérios de inclusão para a seleção foram artigos publicados nos últimos 10 anos e com testes que mantivessem as proporções pó e líquido dos fabricantes. Os artigos que não estiverem disponíveis online ou que não se enquadrarem no objetivo do estudo foram excluídos. Após as buscas dos artigos nas bases de dados seguindo os critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados os artigos que se enquadram nos objetivos da pesquisa; totalizando, 25 artigos.

5 REVISÃO

O cimento endodôntico, ou cimento obturador de canal radicular, é um material plástico de consistência pastosa, utilizado em associação com a guta percha na fase final do tratamento endodôntico convencional, com objetivo de preencher e selar completamente o sistema de canais radiculares (SCR) [2]. A necessidade de um bom cimento endodôntico na Odontologia é fundamental para garantir o sucesso do tratamento, pois ele evita a proliferação de bactérias e a recidiva da infecção no canal radicular. Esse material deve apresentar algumas características importantes, como: capacidade de se unir às paredes dentinárias do canal radicular; boa biocompatibilidade; estabilidade química e física; capacidade de preencher completamente o espaço do canal radicular; ser radiopaco para permitir a visualização radiográfica do material; e além disso, deve ser de fácil manipulação e inserção [8,12,13].

Tais propriedades são fundamentais para a aplicação clínica desses cimentos em procedimentos de:

1. Tratamento endodôntico convencional de dentes acometidos por comunicações periodontais:

Quando ocorre uma comunicação da parte interna da câmara pulpar ou do canal radicular com os tecidos periodontais ou perirradiculares durante procedimentos de acesso endodôntico, localização e preparo químico-mecânico do canal radicular. Nesses casos, torna-se necessário selar a comunicação de modo que o cimento endodôntico seja utilizado para preencher tal área, selando-a e evitando a entrada de microrganismo [14];

2. Tratamento endodôntico convencional de dentes acometidos por alterações pulpares irreversíveis:

Em casos de inflamação do tecido pulpar provocados por agentes microbianos, químicos ou mecânicos, é necessário a extirpação do tecido pulpar afetado e o preenchimento do canal radicular com material obturador a fim de preservar a saúde dos tecidos perirradiculares [1];

3. Tratamento endodôntico convencional de dentes acometidos por processo patológico nos tecidos perirradiculares:

Nos processos infecciosos dos tecidos perirradiculares provocados por agentes microbianos, é necessário a neutralização do conteúdo infeccioso intracanal e o preenchimento do canal radicular com material obturador, a fim de restabelecer a saúde dos tecidos perirradiculares [12];

4. Tratamento cirúrgico endodôntico denominado por cirurgia perendodôntica:

Em casos de processos infecciosos persistentes nos quais não foi possível restabelecer a saúde dos tecidos perirradiculares por meio do tratamento endodôntico convencional, é necessário realizar uma cirurgia ao redor dos tecidos periapicais para remover cirurgicamente o foco de contaminação bacteriana e selar o canal radicular, de forma retrógrada, com material obturador a fim de restabelecer a saúde dos tecidos perirradiculares [15];

5. Apicificação ou tratamento endodôntico convencional em dentes com rizogênese incompleta acometidos por alterações pulpares irreversíveis ou processo patológico nos tecidos perirradiculares:

Procedimento de indução da deposição de tecido mineralizado cementóide no ápice radicular, denominado por “fechamento apical”. Para isso, é indicado a introdução de um material plástico, de consistência densa, possuidor de propriedades bioativas, aplicado no interior do canal radicular, no terço apical, até obter uma espessura de aproximadamente 3-4 mm. Além de criar uma barreira física, evitando o extravasamento da massa obturadora, a técnica busca induzir a formação de tecido mineralizado, com fechamento do forame apical, restabelecendo a saúde dos tecidos perirradiculares [5,15].

Os diferentes tipos de aplicações podem ser organizados da seguinte forma:

Diagrama de fluxo para classificação dos cimentos de uso endodôntico de acordo com a aplicação clínica.

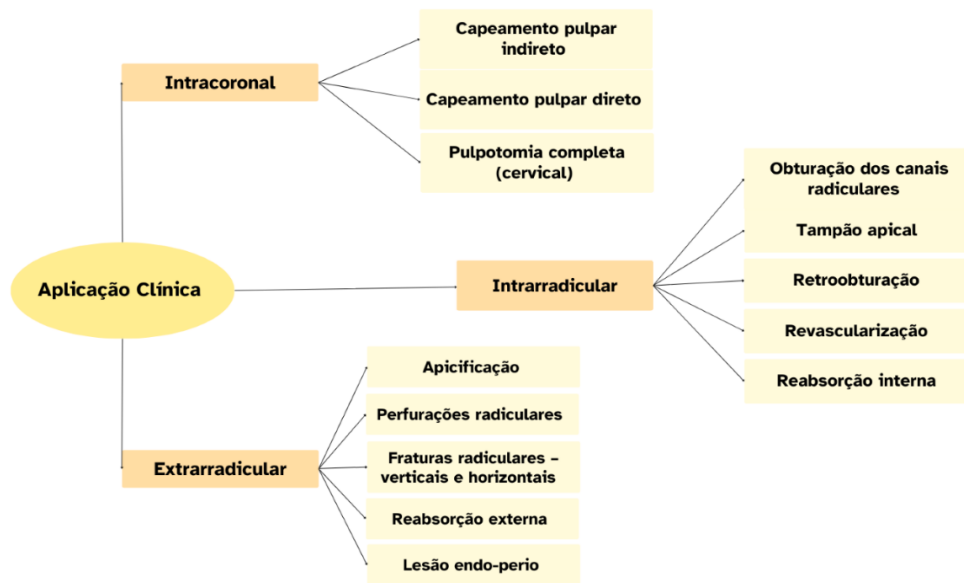


Figura 1: esquema de classificação dos cimentos hidráulicos de acordo com a composição química. Fonte: Autoria própria.

Ao buscar não somente preservar, mas também restabelecer a saúde dos tecidos perirradiculares, atualmente, encontramos diversos tipos de cimentos endodônticos possuidores de propriedades bioativas para as aplicações clínicas citadas anteriormente, com destaque para o MTA e os cimentos biocerâmicos. Contudo, historicamente, o primeiro material incorporado à Odontologia e, conseqüentemente, à Endodontia, possuidor de propriedades bioativas, foi o cimento de hidróxido de cálcio (HC). Por ser capaz de induzir a deposição de tecido mineralizado e promover o reparo tanto do tecido pulpar quanto dos tecidos perirradiculares devido às suas propriedades biológicas e antimicrobianas (obtidas a partir da dissociação e difusão dos íons cálcio – Ca^{2+} – e hidroxila – OH^-) [1], o HC foi indicado em muitas situações clínicas, construindo uma história de mais de 100 anos de seu uso na Odontologia como um biomaterial odontológico multiuso, amplamente estudado. Na Endodontia, cimentos à base de sais de cálcio (Ca), tanto na forma de base, com presença do próprio HC, quanto de óxido, com a presença do óxido de cálcio (CaO), se tornaram uma realidade a partir da associação dos sais de cálcio com uma fase resinosa, derivada de salicilato, sintetizada por meio de reação de transesterificação do salicilato de metila ($\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$), como a resina de salicilato de isobutil [16]. Contudo, por serem materiais de baixa resistência mecânica e suscetíveis à deterioração (ou “desagregação” por hidrólise e lixiviação) em ambiente com presença de umidade, os cimentos de HC são atualmente indicados para

forramento cavitário [16, 17], como agente de proteção do complexo dentino-pulpar, e para cimentação provisória de peças protéticas [11].

Assim, na busca por um material com boas propriedades biológicas, mas capaz de resistir à deterioração após tomar presa (a pega), mesmo quando submetido à ação da água, Mahmoud Torabinejad e Dean J. White, em 1993, ao observarem o desempenho químico e mecânico do cimento Portland e comprovarem sua característica bioindutora, propuseram sua incorporação à clínica como um material dentário. Os autores notaram que, após a reação de presa, denominada hidratação pela mistura do pó com solução aquosa, formaram-se compostos como o HC e o hidróxido de silicato de cálcio ($\text{Ca}_2\text{O}_4\text{SiOH}$) que geram um pH alcalino, bom fechamento marginal e uma menor resposta inflamatória [11, 18]. Dessa forma, com aprimoramento do cimento Portland para uso odontológico, em 1995, Torabinejad e colaboradores produziram uma série de estudos apresentando o referido material à base de clínquer Portland, para toda comunidade odontológica, nominando-o como Agregado de Trióxido Mineral (“MTA”, sigla proveniente da denominação do material em língua inglesa: “Mineral Trioxide Aggregate”), aprovado pela Food and Drug Administration (FDA) para ser usado nos Estados Unidos, em 1997 [15]. Em 1999, a empresa americana Denstply (Tulsa Dental, EUA) comprou os direitos e o comercializou como ProRoot MTA [19].

Em 2001 a empresa Brasileira Angelus Odonto, Logika Ind. de Prod. Odontológica Ltda teve acesso a formulação e lançou comercialmente o MTA no Brasil como “MTA Angelus” [19]. Entre as características e propriedades relatadas pela marca está a de um material para reparação da raiz dental composto de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, óxido de cálcio e tungstato de cálcio (MTA branco) e óxido de bismuto (MTA cinza), de modo que a aluminoferrita tetracálcica é o constituinte responsável pela cor do MTA CINZA da Angelus [20]. Dessa forma, em 2004 Angelus disponibilizou no mercado o MTA BRANCO em que a aluminoferrita é removida durante o processo por causar pigmentações extrínsecas nos tecidos dentais [21]. O MTA cinza apresentou potencial para descoloração dental e para Camilleri (2020) [21] o contato do bismuto presente em materiais como o MTA cinza e o MTA branco com irrigadores dentais à base de hipoclorito também pode influenciar a descoloração dental, devido à instabilidade desse composto. Essa pode ser uma das justificativas para a Angelus também alterar esse componente nas suas futuras formulações substituindo o óxido de bismuto por tungstato de cálcio [22].

Além do seu potencial de causar pigmentação dentária, as dificuldades relacionadas à manipulação e uso do MTA na sua apresentação como pó e líquido motivaram o desenvolvimento de técnicas e produtos alternativos. Dentre esses podemos citar o MTA Repair HP® (Angelus, Londrina, Brasil) composto principalmente por silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, óxido de cálcio, carbonato de cálcio e tungstato de cálcio (radiopacizante), água e um agente plastificante [23] e o Biodentine® (Septodont, Saint-Maur, France) silicato de tricálcico (71,7%), carbonato de cálcio (22,2%), óxido de zircônia como radiopacificador (6,1%) e silicato de dicálcio. O líquido contém cloreto de cálcio como acelerador de presa e um policarboxilato modificado como agente redutor de água [24].

Pela necessidade de um material obturador com melhor manipulação e maior indução ao reparo em contato com os tecidos, a empresa Brasseler, analisando as bases do MTA, formulou um novo cimento também à base de clínquer. O cimento Portland utilizado na construção civil, é um material cerâmico resultante do processo fabril de sinterização, ou “clinquerização” [6]. No processo de produção do clínquer na indústria cimenteira, a sílica (óxido de silício) e óxido de cálcio minerais derivados da argila e do calcário extraídos da natureza, são matérias-primas essenciais para a produção dos silicatos de cálcio [6, 25]. Já na indústria odontológica, a empresa Brasseler passou a produzir os silicatos de cálcio a partir de óxidos sintéticos em laboratório e adicionou ao seu cimento endodôntico bioativo um outro importante material cerâmico, muito utilizado na produção de enxertos ósseos sintéticos, o fosfato de cálcio $[Ca_3(PO_4)_2]$ [14]. Esse cimento foi denominado pelo fabricante como “o primeiro biocerâmico” de uso endodôntico, apresentado em seringa com o material pré-misturado, pronto para uso, com óxido de zircônio, silicato de cálcio, fosfato de cálcio monobásico, HC e outros agentes espessantes em sua composição [14, 16].

Materiais ditos biocerâmicos são, portanto, compostos cerâmicos biocompatíveis, obtidos in situ e in vivo por diversos processos químicos, que apresentam excelentes propriedades de biocompatibilidade, devido à sua similaridade com a hidroxiapatita biológica, e possuem forma cristalizada de fosfato de cálcio, responsável pela resistência e rigidez óssea [17]. A adição do composto supracitado auxilia no reparo de tecidos por conta do papel desempenhado pelo cálcio e pelo fosfato na mineralização e síntese de matriz óssea, devido às suas propriedades biológicas e antimicrobianas (obtidas a partir da dissociação e difusão dos íons cálcio – Ca^{2+} – e hidroxila – OH^-) [17].

O então patenteado EndoSequence BC Sealer[®], conhecido inicialmente como iRoot SP[®] (Innovative Bioceramix, Vancouver, Canadá), foi produzido e comercializado nos EUA pela empresa Brasseler (Savannah, EUA). Radiopaco e com coloração branca, foi classificado como um material hidrofílico, insolúvel, que faz uso da umidade no interior dos túbulos dentinários para completar a sua reação de presa [7]. Dessa forma, seu diferencial foi a remoção do alumínio de sua composição e o uso de silicato de cálcio, óxido de zircônio, fosfato de cálcio monobásico e hidróxido de cálcio como base [7, 14].

5.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A característica em comum entre os cimentos endodônticos bioativos de MTA (à base de clínquer sintético) e os cimentos endodônticos biocerâmicos (com adição de fosfato de cálcio em sua composição) está no uso de matérias-primas com características químicas similares à base de óxidos minerais como o óxido de cálcio (CaO) e o dióxido de silício (SiO₂) [25]. Por muitos anos, afirmou-se que o principal componente do MTA era o CaO, que ao ser misturado com água, se convertia em Ca(OH)₂, que apresenta efeitos antimicrobianos decorrentes da elevação do pH no microambiente tecidual [15]. Contudo, ao contrário dos cimentos à base de HC, o MTA apresenta resistência à umidade, devido a sua baixa solubilidade. Tal característica favorece a sua aplicação em sítios com presença de fluidos provenientes dos tecidos pulpares e perirradiculares [15, 26].

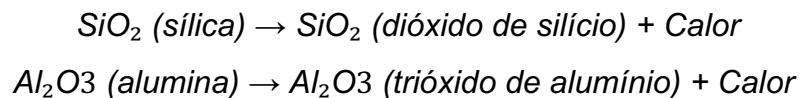
A partir de estudos da área da Engenharia Civil, especificamente no campo da construção civil, foi possível esclarecer que o CaO do clínquer Portland, o mesmo do clínquer sintético utilizado na produção do MTA, é obtido a partir de um processo de decomposição térmica de calcário (CaCO₃) [5, 15], chamado de “calcinação”, através da reação:



Já os silicatos e aluminatos podem ser obtidos de duas formas: a partir de matérias-primas como sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃), provenientes do calcário e argila, obtidos na natureza para a produção do clínquer Portland ou de compostos puros obtidos de forma sintética em laboratório [17]. A sílica é geralmente encontrada na forma de

quartzo, areia ou dióxido de silício (SiO_2). Já a alumina se apresenta na forma de bauxita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que é extraída de minas [6,18].

Através do processo de calcinação, a sílica e a alumina são convertidas respectivamente em dióxido de silício (SiO_2) e trióxido de alumínio (Al_2O_3) [18]:



Além das três matérias-primas (CaO , SiO_2 e Al_2O_3), o MTA cinza também apresenta óxido de ferro (Fe_2O_3) sintético, similar ao Fe_2O_3 obtido de forma natural da argila durante a produção do clínquer Portland [6,18]. Essas matérias-primas são então misturadas em proporções precisas e posteriormente moídas até se obter um pó fino. Esse pó é então misturado com água, num processo de sinterização (cliquerização) via sol-gel, para produzir o MTA [6].

O processo de presa é descrito como uma reação de hidratação do tricálcio silicato ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) e silicato dicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), em que este último é o responsável pelo desenvolvimento de resistência do material [15]. Já o processo de endurecimento do MTA e cimentos Portland é descrito como uma reação de hidratação de seus silicatos, onde o Ca_2SiO_4 é responsável pelo desenvolvimento da resistência mecânica. Nesta reação, ocorre inicialmente a dissolução de íons a partir do material anidro indutor da formação do hidrato de silicato de cálcio (C-S-H) e hidróxido de cálcio (CH), e resulta na cristalização dos hidratos em uma estrutura emaranhada que confere resistência ao material [5, 15].

Porém, a partir do momento que a empresa Brasseler adicionou fosfato de cálcio na composição de cimentos endodônticos bioativos à base de silicatos de cálcio, o termo “Biocerâmico” se popularizou, não só no meio científico, mas também comercialmente. Tal termo passou a não se limitar apenas aqueles cimentos que possuíam fosfato de cálcio, mas para todos os cimentos endodônticos bioativos, como o MTA e seus derivados, ou ainda aos com base de silicatos de cálcio.

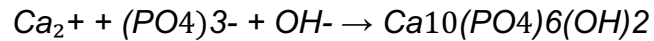
Para tentar compreender a consolidação do conhecimento adquirido até aqui no campo dos cimentos endodônticos bioativos, é preciso recorrer à princípios fundamentais e até aspectos conceituais no campo da ciência dos materiais. Em vista disso, é possível afirmar que “cerâmicas” são materiais inorgânicos não metálicos, geralmente compostos de um metal e um não metal [18]. Eles são tipicamente duros, frágeis e resistentes a

altas temperaturas, tornando-os úteis para uma ampla gama de aplicações, como construção, eletrônica e engenharia biomédica, definida, portanto como uma classe específica de materiais [18]. Já “materiais cerâmicos” é um termo mais abrangente, cobrindo uma ampla gama de diferentes materiais que possuem componentes cerâmicos em sua composição e que compartilham algumas características comuns [18]. Ambos podem ser compostos por uma variedade de componentes, incluindo óxidos, nitretos, carbonetos e outros; além de ter uma ampla gama de propriedades, dependendo de sua composição e processamento, incluindo alta resistência, dureza, resistência ao desgaste, biocompatibilidade e isolamento elétrico [17, 18].

Na indústria ceramista, o processo de fabricação de porcelana utiliza a argila e outros ingredientes como feldspato, calcário e sílica [17]. Durante o processo de produção, os ingredientes são misturados e submetidos a altas temperaturas, em um processo de sinterização das partículas de argila (decomposição térmica dos componentes presentes na mistura) que se fundem em uma estrutura rígida e resistente [17]. A argila, que é rica em silicatos de alumínio, desidrata e sofre transformação para uma estrutura cristalina, e os demais ingredientes, na presença de calor, reagem e produzem novas estruturas cristalinas e compostos, a saber, feldspato, anortita e cristobalita [17]. Essa estrutura cristalina das cerâmicas e dos materiais cerâmicos é responsável por também definir a característica das superfícies dos produtos resultantes que são considerados biocompatíveis, ou seja, não causam reações adversas nos tecidos do corpo, pois, em contato com os tecidos biológicos, geram uma interação química entre a superfície da cerâmica e as moléculas presentes nos fluidos corporais, como o plasma sanguíneo [25]. Essa interação é conhecida como adsorção, que é a aderência de moléculas em uma superfície sólida [25].

As moléculas adsorvidas na superfície da cerâmica, juntamente com íons liberados em solução podem atuar como sítios de nucleação para formar hidroxiapatita, o mineral que compõe os tecidos duros do corpo, como ossos e dentes [6]. Tais compostos aumentam ainda mais a proliferação e diferenciação osteogênica de células-tronco mesenquimais, provenientes da medula óssea humana, o que caracteriza reações de osteointegração, ou remineralização [6].

Este processo é resultado de uma reação de precipitação, onde os íons de cálcio e fosfato se combinam para formar a hidroxiapatita. A reação química é representada pela seguinte equação [18]:



Nesta equação, os íons de cálcio (Ca_2^{+}) e fosfato ($(PO_4)^{3-}$) se combinam com o íon hidroxila (OH^{-}) para formar a hidroxiapatita ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$). Desse modo, a hidroxiapatita é um composto químico formado por cálcio, fósforo e oxigênio, com a adição de hidroxilas em sua estrutura, o que justifica a adesão do fosfato de cálcio na fórmula do EndoSequence BC Sealer. Esta característica induz um melhor processo de reparo local.

Como as cerâmicas são materiais inorgânicos não metálicos, o termo “cerâmicas” abrange praticamente todos os componentes presentes no pó de MTA, no fosfato de zinco e no óxido de zinco eugenol. Contudo, 'biocerâmica' em um ambiente odontológico refere-se a materiais restauradores protéticos, em oposição a HDCs [11]. Surya e colaboradores [19], definem os biocerâmicos como “produtos cerâmicos ou componentes empregados em aplicações médicas e dentais principalmente como implantes e substitutos com propriedades osteo indutivas”. A proporção da versão comercial desse tipo genérico de material é baseada na química do cimento Portland.

Passados trinta anos do uso do termo “MTA” ou “à base de MTA” para se referir a cimentos cerâmicos à base de clínquer em Odontologia, em 2020, Josette Camilleri [27] propôs uma reclassificação desses biomateriais de uso endodôntico, utilizando como base sua química e também em seu uso clínico. Para Camilleri, o melhor termo para definir todos esses materiais seria “Cimentos Hidráulicos”. Essa terminologia, proveniente da construção civil, os caracteriza como um grupo de materiais que se hidratam em contato com a água, endurecem e ganham resistência, bem como, interagem com o meio ambiente [27]. Desse modo, são utilizados em Endodontia por apresentarem biocompatibilidade, alta resistência, e possuírem propriedades antimicrobianas, sendo particularmente necessário para cimentos capeadores pulpare, reparadores de comunicações radiculares e materiais retrobturadores, que são colocados em contato direto com os tecidos humanos.

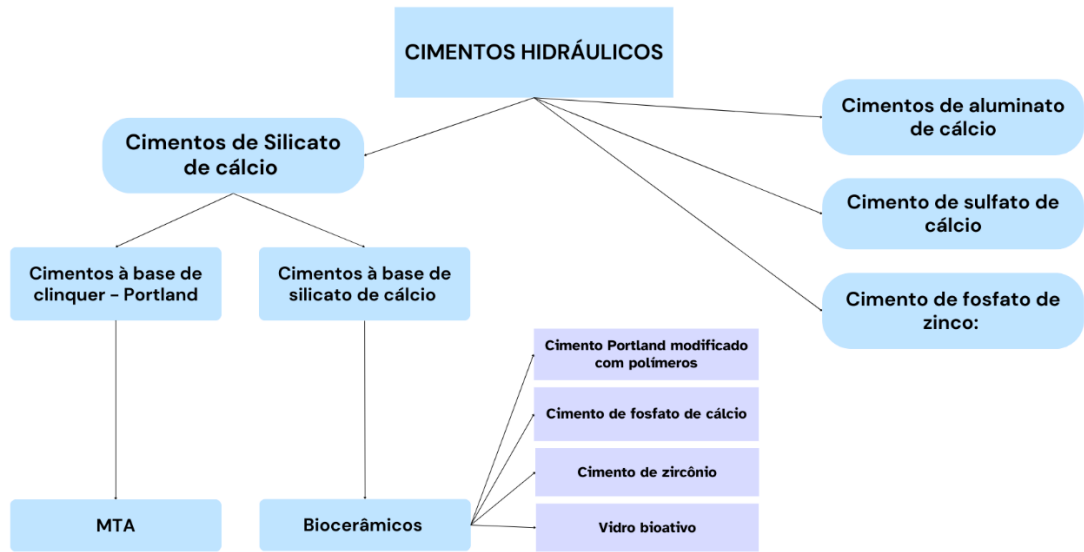


Figura 2: esquema de classificação dos cimentos hidráulicos de acordo com a composição química. Fonte: Camilleri J, Atmeh A, Li X, Meschi N. Present status and future directions - hydraulic materials for endodontic use. International Endodontic Journal. 2022 Feb 15;

No entanto, na sua mais recente revisão, Camilleri [10] propôs uma reclassificação e defende que somente os materiais cuja reação primária é com a água podem ser considerados como hidráulicos. Para isso, a reação primária deve ser uma reação de hidratação. Assim, materiais modificados por resina e outros híbridos não podem ser classificados como hidráulicos, mesmo que todos possuam as mesmas matérias primas. O MTA foi o primeiro material dessa categoria a ser comercializado e a maioria se refere aos cimentos hidráulicos como MTA ou “do tipo” MTA (“MTA-like”) [10]. A biocerâmica também é utilizada para se referir a cimentos hidráulicos, mas este termo é vago e não descreve a química e/ou o comportamento clínico dos materiais. Assim, o termo hidráulico, também utilizado na construção civil, é a melhor forma de se referir a esses tipos de materiais, de modo que “cimentos hidráulicos” sejam considerados todos os silicatos de cálcio. Diante deste cenário, para a autora, os termos 'biocerâmico', 'MTA' e 'cimento de silicato de cálcio' podem ser enganosos, pois nem todas as propriedades são compartilhadas entre esses materiais.

6 DISCUSSÃO

O pó de MTA está disponível no mercado odontológico brasileiro com as denominações de ProRoot MTA[®] (Dentply, Tulsa Dental, EUA) e de MTA – Angelus[®] (Angelus Odonto, Logika Ind. de Prod. Odontológica Ltda., Londrina, PR) [19]. Contudo, vários cimentos endodônticos bioativos são utilizados na prática clínica e se classificam como derivados de MTA, cimento de mistura enriquecida com cálcio ou de silicato de Cálcio, incluindo BioAggregate[®], Biodentine[®] (Septodont), BioMTA[®] (Avalon Biomed Inc.), BioRoot RCS[®], Endo-CPM[®], Endocem[®], EndoSequence[®] (Brasseler USA), EndoBinder[®], EndoSeal MTA[®], iRoot[®], MicroMega MTA[®], MTA Bio[®], MTA Fillapex[®], MTA Repair HP[®] (Meta Biomed Co. Ltd.), MTA Plus[®], NeoMTA Plus[®] (Avalon Biomed Inc.), OrthoMTA[®], Quick-Set[®], RetroMTA[®] (Bionnovation Biotech), Tech Biosealer[®], TheraCal LC[®] e Vitalcem[®] [28].

Sabe-se que MTA são materiais derivados de um composto original de cimento Portland e, embora sejam semelhantes em alguns aspectos, não são idênticos. O MTA passa por um processo de purificação e suas partículas são diferentes, pois, quando comparados aos cimentos Portland, tem um tamanho médio de partícula menor e contêm menos metais pesados tóxicos [28]. A saber, o MTA Repair HP possui como base a formulação de MTA convencional, mas contém tungstato de cálcio como radiopacificador e um líquido de mistura com um agente plastificante [7], substituindo o óxido de bismuto, originalmente proposto por Torabinejad [5]. Sua aplicação clínica sugerida refere-se a: material obturador de canal radicular; material capeador pulpar; material para pulpotomia; material para apicificação e material reparador, indicado para casos de comunicação periodontal [12]. De acordo com as instruções do fabricante, esta nova fórmula mantém as propriedades químicas original do MTA, mas melhorou suas propriedades físicas relacionadas a manipulação. O cimento MTA Vitalcem[®] tem uma composição semelhante a do MTA convencional, mas contém dióxido zircônio como radiopacificador [7]. Esse cimento foi proposto como material obturador de canal radicular; material reparador, indicado para casos de comunicação periodontal; material reparador, indicado para casos reabsorção; material para apicificação e material capeador pulpar [22]. Tem mostrado propriedades antimicrobianas e propriedades de regeneração semelhantes às do MTA convencional.

Um exemplo de cimento comercial à base de MTA, mas caracterizado como biocerâmico seria o cimento Bio-C Sealer[®] (Angelus). Alguns autores [6, 12] o nomeiam

dessa forma por proporcionar as mesmas interações biológicas do MTA, porém com melhor manipulação e inserção. O Bio-C Sealer® é apresentado, ainda, como um material biocerâmico pré-misturado, injetável, radiopaco, composto de óxido de zircônio, silicatos de cálcio, fosfato de cálcio monobásico e hidróxido de cálcio, além de agentes de preenchimento e espessantes [7]. Apresenta propriedades hidrofílicas e usa a umidade nos túbulos dentinários para iniciar e completar sua reação de configuração. Seu tempo de presa depende da presença de umidade nos túbulos dentinários e da temperatura, e pode variar entre 4 horas, em temperatura ambiente, até mais de 10 horas, por exemplo, em canais muito secos [10]. Outro caso semelhante é o Bioaggregate®, considerado pelo fabricante um biocerâmico composto por silicato de cálcio hidratado, hidróxido de cálcio, hidroxapatita, sílica e óxido de tâlano. Porém, caso o óxido de tâlano fosse removido da composição deste cimento, este poderia ser incluído na definição de MTA devido às suas características semelhantes. Todos os cimentos supracitados apresentam formas de manipulação e inserção diferentes, o que pode gerar dúvidas na indicação clínica, caso não seja de conhecimento do profissional que os materiais com presença de fosfato de cálcio em sua composição induzem maior reparo e formação de hidroxapatita, porém são mais suscetíveis a reabsorção.

Mesmo a realização de estudos de caracterização desses materiais em seu estado anidro não foi capaz de direcionar para uma classificação mais objetiva desses cimentos endodônticos bioativos. Em estudos utilizando a análise em DRX do pó (material anidro) de algumas apresentações comerciais desses cimentos, como ProRoot MTA, Biodentine, EndoSequence BC Sealer, Angelus MTA, NeoMTA Plus, MTA Repair HP, Root MTA e BioMTA, foram encontrados silicato dicálcico (C_2S), silicato tricálcico (C_3S) e aluminato tricálcico (C_3A) [9]; as mesmas fases minerais (Ca_2SiO_5 , Ca_3SiO_5 e $Ca_3Al_2O_3$) presentes no clínquer Portland [6]. Foi verificada a presença também de óxido de bismuto, óxido de zircônio (ZrO_2) e fosfato de cálcio [9], o que gera nos autores a dúvida se esses materiais devem ser classificados diferentemente. O óxido de bismuto e o óxido de zircônio (ZrO_2) são adicionados para atribuírem radiopacidade ao cimento endodôntico, já que a presença de um agente radiopacificador é essencial para um cimento bioativo, por questões diagnósticas radiográficas em Odontologia [15]. A normativa ISO 6876/20016 recomenda que os materiais obturadores de canais radiculares devem apresentar radiopacidade mínima equivalente a 3 mm de espessura na escala de alumínio [10].

Tanto Parirokh e colaboradores (2017) quanto Surya (2017), acreditam que uma das principais diferenças entre os cimentos biocerâmicos e os cimentos a base de silicato de cálcio é a sua capacidade de liberação de íons e de substâncias que promovem a mineralização tecidual. Os cimentos biocerâmicos têm maior capacidade de liberação de hidróxido de cálcio e outros íons, o que pode estimular a formação de tecido mineralizado e promover a regeneração tecidual, como apontam os trabalhos de diferenciação dos cimentos à base de silicato de cálcio [11]. Já outros estudos afirmam que nem todo cimento biocerâmico é à base de silicato de cálcio [18], pois, o termo “Cimentos Biocerâmicos” faz menção à uma mistura de pós e líquidos que contém componentes diversos, incluindo, mas não limitados, à silicatos de cálcio, alumínio, ferro, cálcio, zircônio, titânio, sílica, fosfatos, entre outros [17,18]. Cada cimento biocerâmico pode ter uma composição diferente, o que pode afetar suas propriedades físicas, químicas e biológicas, como a resistência à compressão desses materiais, mais elevada do que os cimentos a base de silicato de cálcio [4], tornando-os mais adequados para aplicações onde a resistência mecânica é de maior relevância, como na obturação de canal radicular [12]. Nos estudos que tentam diferenciar cimentos biocerâmicos de cimentos à base de silicato de cálcio [10, 27], uma das principais diferenças apontadas está na sua capacidade de liberação de íons e substâncias que promovem a formação de tecido mineralizado; têm uma capacidade maior de liberação de HC e outros íons, o que pode estimular a formação de tecido mineralizado e promover a regeneração tecidual.

Todavia, outros autores afirmam que a atuação clínica desses materiais é semelhante, já que todos apresentam respostas biocompatíveis [5, 13]. Por isso, tais autores sugerem que ao invés de se referir-se aos cimentos com base em suas composições químicas, esses materiais podem ser definidos como 'cimentos endodônticos bioativos', uma vez que apesar das diferenças em suas composições químicas, a bioatividade é uma propriedade comum a todos. Numerosos artigos foram encontrados sobre o uso de tais cimentos hidráulicos bioativos como agentes para terapia de polpas vitais, a saber, capeamento pulpar indireto e direto, pulpotomia parcial e pulpotomia cervical [5, 15, 22, 28]. A maioria dessas investigações utilizaram o MTA para os tratamentos intracoronários, isso implica na liberação de íons cálcio, eletrocondutividade, produção de hidróxido de cálcio, formação de uma camada interfacial entre o cimento e a parede dentinária e formação de cristais de apatita sobre

a superfície do material em um ambiente de fluido de tecido sintético, como tampão fosfato salino [22].

Assim, a definição alternativa como “materiais hidráulicos” para materiais odontológicos à base de silicato de cálcio [10, 27], segundo a definição adotada pela Engenharia Civil para materiais na forma de pó constituídos majoritariamente pelo clínquer, é controversa como tentativa de diferenciar os novos cimentos biocerâmicos da base do MTA, inicialmente menos biocompatível. O termo hidráulico na Engenharia Civil sugere que os materiais à base de clínquer são aglomerantes ativos resistentes à ação da água [6]. Já o termo “material biocerâmico de silicato” abrange não apenas seu significado, no contexto etimológico e semântico, mas também no contexto das ciências da saúde, explicitando a presença de cerâmicas de silicato em sua composição, responsável pela boa interação com sistemas biológicos [17]. Ergo, uma classificação pautada exclusivamente na composição química, como: “Cimentos Bioativos de Silicatos de Cálcio” e “Cimentos Bioativos de Silicatos e Fosfato de Cálcio” definiria melhor os biomateriais de uso endodôntico.

7 CONCLUSÃO

Com base na revisão realizada, parece lícito concluir que uma classificação com base na estrita composição química dos cimentos endodônticos bioativos parece ser mais clara e propícia para definir esses biomateriais de uso endodôntico, como cimentos bioativos de silicato de cálcio e cimentos bioativos de silicato e fosfato de cálcio.

REFERÊNCIAS

1. Jr JFS, Rôças IN, Lopes HP, Alves FRF, Oliveira JCM, Armada L, et al. Princípios biológicos do tratamento endodôntico de dentes com polpa necrosada e lesão perirradicular. *Revista Brasileira de Odontologia* [Internet]. 2012 Sep 25 [cited 2022 Jul 22];69(1):08. Available from: <http://revista.aborj.org.br/index.php/rbo/article/view/364>
2. Walton, R.E.; Torabinejad, M.; Princípios e prática em endodontia. São Paulo: Santos Livraria e Editora, 1997, p. 373- 384.
3. Grossman LI. An improved root canal cement. *The Journal of the American Dental Association*. 1958 Mar;56(3):381–5.
4. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dental Materials Journal*. 2020 Sep 28;39(5):703–20.
5. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *Journal of Endodontics*. 1993 Dec;19(12):591–5.
6. Meschi N, Li X, Van Gorp G, Camilleri J, Van Meerbeek B, Lambrechts P. Bioactivity potential of Portland cement in regenerative endodontic procedures: From clinic to lab. *Dental Materials*. 2019 Sep;35(9):1342–50.
7. Kharchi AS, Tagiyeva-Milne N, Kanagasingam S. Regenerative Endodontic Procedures, Disinfectants and Outcomes: A Systematic Review. *Primary Dental Journal*. 2020 Nov 23;9(4):65–84.
8. Patel E, Pradeep P, Kumar P, Choonara YE, Pillay V. Oroactive dental biomaterials and their use in endodontic therapy. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*. 2019 Apr 8;108(1):201–12.

9. Song W, Li S, Tang Q, Chen L, Yuan Z. In vitro biocompatibility and bioactivity of calcium silicatebased bioceramics in endodontics (Review). *International Journal of Molecular Medicine*. 2021 May 14;48.

10. Camilleri J, Atmeh A, Li X, Meschi N. Present status and future directions - hydraulic materials for endodontic use. *International Endodontic Journal*. 2022 Feb 15;

11. Hinata G, Yoshiba K, Han L, Edanami N, Yoshiba N, Okiji T. Bioactivity and biomineralization ability of calcium silicate-based pulp-capping materials after subcutaneous implantation. *International Endodontic Journal*. 2017 Jul 25;50:e40–51.

12. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review—Part III: Clinical Applications, Drawbacks, and Mechanism of Action. *Journal of Endodontics* [Internet]. 2010 Mar;36(3):400–13. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0099239909007699>

13. Voicu G, Didilescu AC, Stoian AB, Dumitriu C, Greabu M, Andrei M. Mineralogical and Microstructural Characteristics of Two Dental Pulp Capping Materials. *Materials*. 2019 May 31;12(11):1772.

14. Kim SG, Malek M, Sigurdsson A, Lin LM, Kahler B. Regenerative endodontics: a comprehensive review. *International Endodontic Journal*. 2018 Jun 11;51(12):1367–88

15. Torabinejad M, Parirokh M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part II: other clinical applications and complications. *International Endodontic Journal*. 2017 Oct 11;51(3):284–317. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/iej.12843>

16. Alasqah M, Khan SIR, Alfouzan K, Jamleh A. Regenerative Endodontic Management of an Immature Molar Using Calcium Hydroxide and Triple Antibiotic Paste: a Two-Year Follow-Up. *Case Reports in Dentistry*. 2020 Feb 10; 2020:1–5.
17. Hench LL. Bioceramics: From Concept to Clinic. *Journal of the American Ceramic Society*. 1991 Jul;74(7):1487–510.
18. Hench LL. The future of bioactive ceramics. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2015 Feb;26(2).
19. Surya Raghavendra S, Jadhav GR, Gathani KM, Kotadia P. BIOCERAMICS IN ENDODONTICS – A REVIEW. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry [Internet]*. 2017 Nov 17;51(0). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5750835/>
20. MTA ANGELUS [Internet]. [cited 2023 Jun 24]. Available from: <https://angelus.ind.br/assets/uploads/2019/12/27102021-MTA-ANGELUS-Bula.pdf>
21. Camilleri J, Borg J, Damidot D, Salvadori E, Pilecki P, Zaslansky P, et al. Colour and chemical stability of bismuth oxide in dental materials with solutions used in routine clinical practice. Kielbassa AM, editor. *PLOS ONE*. 2020 Nov 11;15(11):e0240634.
22. Parirokh M, Torabinejad M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part I: vital pulp therapy. *International Endodontic Journal*. 2017 Sep 21;51(2):177–205.
23. MTA REPAIR HP [Internet]. [cited 2023 Jun 24]. Available from: <https://angelus.ind.br/assets/uploads/2019/12/19042022-MTA-REPAIR-HP-Bula.pdf>

24. Biodentine - Categoria RESTAURAÇÃO DENTINÁRIA - Septodont [Internet]. www.septodont.com.br. [cited 2023 Jun 24]. Available from: <https://www.septodont.com.br/produtos/biodentine>
25. Margunato S, Taşlı PN, Aydın S, Karapınar Kazandağ M, Şahin F. In Vitro Evaluation of ProRoot MTA, Biodentine, and MM-MTA on Human Alveolar Bone Marrow Stem Cells in Terms of Biocompatibility and Mineralization. *Journal of Endodontics*. 2015 Oct;41(10):1646–52.
26. Torabinejad M, White DJ. TOOTH FLLING MATERAL AND METHOD OF USE FIELD OF THE INVENTION. 1993 [cited 1995 May 16]. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/patent/US-5769638> A#section=Important-Dates
27. Camilleri J. Classification of Hydraulic Cements Used in Dentistry. *Frontiers in Dental Medicine*. 2020 Sep 8;
28. Torabinejad M, Hong C, McDonald F, Pittford T. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *Journal of Endodontics*. 1995 Jul;21(7):349–53.
29. Parioikh M, Torabinejad M. Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review—Part I: Chemical, Physical, and Antibacterial Properties. *Journal of Endodontics*. 2010 Jan;36(1):16–27.
30. Ribeiro C, Zaccaro MF, Raphael Hirata Junior, Rocha L. The antimicrobial activity of gray-colored mineral trioxide aggregate (GMTA) and white-colored MTA (WMTA) under aerobic and anaerobic conditions. 2010 Jun 1;109(6):e

