



INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

BIODENTINE *VERSUS* MTA NA ENDODONTIA

Trabalho submetido por
Carollina Milazzo Correa Santana
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

setembro de 2020



INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

BIODENTINE *VERSUS* MTA NA ENDODONTIA

Trabalho submetido por
Carollina Milazzo Correa Santana
para a obtenção do grau de **Mestre** em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutor Ignácio Barbero

setembro de 2020

AGRADECIMENTOS

Devo primeiramente agradecer a Deus, por ter me permitido chegar até aqui.

Ao meu orientador Professor Doutor Ignácio Barbero que me auxiliou neste presente trabalho. Sua competência, dedicação e paciência certamente fizeram dessa tarefa um aprendizado valioso. Desde o começo dedicou seu requisitado tempo com orientações e correções. Parabéns por todo empenho dedicado a essa atividade acadêmica tão importante.

Aos meus colegas que tive prazer de conhecer ao longo do curso, em especial minha dupla e parceira Ana Carolina Alcantara que tive a honra de me tornar amiga, te levo no coração!

Ao meu esposo Guilherme e minha filha que me apoiaram em toda trajetória, que não mediu esforços para que eu conseguisse realizar este sonho; meu muito obrigada ,amo vocês !!

Aos meus pais que sempre tão presentes, me incentivaram e apoiaram em todas as etapas, vocês são meus alicerces! Nunca conseguirei retribuir tamanho cuidado e dedicação, que tanto me deram. Gratidão!!

“A satisfação está no esforço feito para alcançar o objetivo, e não em tê-lo alcançado.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

O Agregado de Trióxido Mineral (MTA) foi inicialmente utilizado como material retrobturador, e posteriormente, usado também em diversas circunstâncias clínicas. A ampliação das indicações do MTA foi baseada na ótima qualidade das suas características físicas e biológicas, nas quais se destacam a excelente eficiência de selamento e sua da significativa bioatividade.

No entanto, o MTA tem diversas desvantagens como material de cobertura, tais como: ser de difícil manuseio, apresentar extenso tempo de endurecimento, induzir a descoloração dos elementos dentários e incompatibilidade com outros materiais quando em camadas.

Biodentine™ (BD) tem sido frequentemente reconhecido na literatura como um material promissor e serve como um importante representante dos cimentos à base de silicato tricálcico utilizados na medicina dentária. Os fabricantes afirmam que BD possui boas propriedades mecânicas, além de excelente biocompatibilidade e comportamento bioativo. Além disso, tem um tempo de endurecimento inicial de 6 min e tempo de presa final de 10-12min, e não causa descoloração dos dentes.

O trabalho tem como alvo proporcionar uma atualização sobre as propriedades físicas e biológicas de BD e comparar estas propriedades com o cimento MTA. Novos materiais que exigem melhor desempenho estão continuamente a ser introduzidos no mercado para aperfeiçoar o tratamento dos dentes.

O objetivo deste estudo é fazer uma revisão de literatura, até os dias atuais, sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas de Biodentine™ (BD) e Agregado Trióxido Mineral (MTA).

Palavras-chave: *Endodontia. Materiais. Silicato de cálcio. Propriedades.*

ABSTRACT

The MTA was preliminarily identified as retrofilling material, and later, also used in other clinical situations. The expansion of MTA indications was based on the excellent quality of its physical and biological characteristics, in which the excellent sealing efficiency and its significant bioactivity stand out.

However, the MTA exhibits several disadvantages such as covering material, being difficult to handle, presenting long hardening times, inducing discoloration of dental elements and incompatibility with other materials when layered.

Biodentine™ has often been recognized in the literature as a promising material and serves as an important representative of tricalcium silicate cements used in dentistry. Manufacturers claim that Biodentine™ has good mechanical properties, in addition to excellent biocompatibility and bioactive behavior. In addition, initial setting time of 6 min and final setting time of 10-12 min, and does not cause discoloration of the teeth.

The aim of the work is to provide an update on the physical and biological properties of Biodentine™ and to compare these properties with MTA cement. New materials claiming better performance are continually being introduced to the market to optimize the treatment of patients.

The purpose of this study is to review the literature, chronologically, on the chemical, physical and biological properties of Biodentine™ and Aggregate Mineral Trioxide (MTA).

Key-words: *Endodontics. Materials. Calcium silicate. Properties.*

ÍNDICE GERAL

I. INTRODUÇÃO	9
II. DESENVOLVIMENTO	13
1. Propriedades dos cimentos na endodontia	13
1.1 Atividade antimicrobiana	14
1.2 Capacidade de vedação	15
1.3 Biocompatibilidade	16
1.4 Citotoxicidade	17
1.5 Bioatividade.....	17
1.6 Resistência à compressão	18
2. Agregado trióxido mineral (mta).....	18
3. BIODENTINE (BD)	25
4. MTA versus BD	30
III. CONCLUSÃO	43
IV. BIBLIOGRAFIA.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A) Rx inicial dos dentes, B) rastreamento de fístula	21
Figura 2 - Rx para verificação da espessura e homogeneidade do plug com MTA	23
Figura 3 - Rx Final após obturação	23
Figura 4 - Preservação após 10 meses	24
Figura 5 - Tomografia acusando trinca no dente 22	24
Figura 6 - Rarefação e reabsorção óssea no dente 22	25
Figura 7 - Obturação feita com MTA. Acompanhamento com o paciente a cada 6 meses. Sem sintomatologia e com prognóstico eficaz.	25
Figura 8 - Tomografia inicial do dente 46, constatando obliteração parcial dos canais e calcificação da câmara pulpar	29
Figura 9 - Rastreamento de fístula. Paciente tinha dor e não queria extrair o dente.	29
Figura 10 - devido a ausência de microscópio, foi feita uma tentativa de acesso guiado com ultrassom para localizar os canais	29
Figura 11 - Endodontia finalizada usando material biocerâmico e Biodentine. Acompanhamento após 8 meses	30

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do MTA.....	19
Tabela 2 - Composição da Biodentine.....	26
Tabela 3 - Tempo de presa e características de porosidade do MTA e Biodentine.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS

3CaO · SiO₂ - silicato tricálcico

BD – Biodentine

Ca(OH)₂ - hidróxido de cálcio

CaCl₂, 2H₂O - cloreto de cálcio

CaCO₃ - carbonato de cálcio

CHC - cimento de hidróxido de cálcio em duas pastas

CHX – clorexidina

DPC - capeamento direto da polpa

hBMSCs - células-tronco da medula óssea humana

hDPSCs - células-tronco da polpa dental humana

hMSCs - células-tronco mesenquimais humanas

HPF - fibroblastos de polpa humana

HUVECs - células endoteliais de veia umbilical

IRM - Material Restaurador Intermediário

ISO - Organização Internacional de Normalização

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

MTA - Agregado de Trióxido Mineral

MTA-A - Agregado de Trióxido Mineral Angelus

NaOCl - hipoclorito de sódio

OZE - óxido de zinco e eugenol

PAI - índice periapical

PDL - fibroblastos do ligamento periodontal

Rx – Raio-X

TGF- β 1 - fator de Crescimento Transformador-beta

VEGF - fator de crescimento endotelial vascular

ZrO₂ - óxido de zircônio

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos 200 anos, houve muitas mudanças na forma de realizar o tratamento endodôntico. O protocolo padrão passou por várias modificações, principalmente por causa do aumento da procura dos pacientes, pela rejeição de extrações dentárias e pelos avanços na ciência dos materiais e equipamentos inovadores (Kaur et al., 2017).

O processo de cicatrização da polpa dentária é caracterizado pela formação de um tecido duro e manutenção da vitalidade sem inflamação. Para preservar a vitalidade do tecido pulpar e evitar suas alterações patológicas, a polpa exposta deve ser selada com um material biocompatível para protegê-la de lesões adicionais e promover sua cicatrização e seu reparo (Kim et al., 2016).

Um material ideal para reparo dentário deve possuir certas propriedades exclusivas, tais como: capacidade adesiva adequada, biocompatibilidade, bioatividade, entre outros (Kaur et al., 2017).

Estes materiais podem ser usados na proteção pulpar, no reparo da perfuração e no preenchimento retrógrado, podendo afetar adversamente a vitalidade das células pulpares e perirradiculares e causar a morte celular (Cornélio et al., 2011).

Os materiais dentários devem ajudar na recuperação, estimulando o reparo para a manutenção da função dentária devendo ser biologicamente compatível (Damas et al., 2011). Portanto, deve-se ter precaução, uma vez que o uso de materiais não biocompatíveis no tecido pulpar e periapical pode causar efeitos adversos nos resultados do tratamento (Bodrumlu, 2008).

Até aos dias de hoje, o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) tem sido o material de eleição entre os vários materiais de proteção pulpar disponíveis. Os estudos clínicos relataram uma elevada taxa de resultados favoráveis de pulpotomias parciais (Chailertvanitkul et al., 2014).

Embora este material tenha propriedades úteis, como a indução de mineralização, pH alto e baixa toxicidade, existem algumas propriedades negativas, como não adesão à dentina, dissolução em fluídos de tecidos e degradação à flexão dentária (Dantas et al., 2012).

A introdução do MTA foi considerada uma grande inovação na história da ciência dos materiais e, desde então, as propriedades deste material foram melhoradas de forma a alcançar as propriedades ideais (Kaur et al., 2017).

O MTA pode ser usado em aplicações cirúrgicas e não cirúrgicas, incluindo proteção pulpar direta (Ford et al., 1996), material de enchimento provisório, reparação de perfuração em raízes ou perfuração de furca (Arens & Torabinejad, 1996), apexificação e obturação de extremidade radicular (Chailertvanitkul et al., 2014; Mahmoud Torabinejad et al., 1995)

Apesar da alta eficácia clínica do MTA, sempre houve algumas desvantagens que impediram os Médicos Dentistas de utilizar em diversos casos. As principais são a sua manipulação difícil, o tempo de preparo lento e alto custo (Kaur et al., 2017).

Uma ponte dentinária mais espessa e a presença mais frequente de uma camada odontoblástica são evidentes quando os dentes são isolados com MTA em comparação com o hidróxido de cálcio (Chailertvanitkul et al., 2014).

Os materiais à base de silicato de cálcio ganharam notoriedade nos últimos anos devido à semelhança com o MTA e a aplicabilidade nos casos em que o MTA é indicado. Embora vários produtos à base de silicato de cálcio tenham sido lançados no mercado, o Biodentine (BD) é, especialmente, o foco de atenção e tema de diversos estudos na atualidade (Malkondu et al., 2014).

O BD foi estabelecido usando a tecnologia de cimento baseada em MTA e, portanto, demonstrou melhorias de algumas das propriedades, como qualidades físicas e manipulação, incluindo outras aplicações como reparo endodôntico e proteção pulpar em Medicina Dentária restauradora (Kaur et al., 2017).

Neste contexto, o presente estudo pretende revisar a literatura, cronologicamente até aos dias atuais, sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas de BD e MTA.

Foi realizada uma revisão da literatura por meio de uma pesquisa bibliográfica em bases de pesquisa *online* como Lilacs, Bireme, Medline e Pubmed, Science Direct e ainda, em diversas bibliotecas digitais produzidas por Universidades. Os artigos obtidos através das estratégias de pesquisa, que tiveram como tema principal “Biodentine *versus* MTA na

Endodontia” foram avaliados e classificados em válidos os estudos que apresentaram relevância clínica e inválidos os estudos sem relevância para este estudo. Dentro dos critérios observados para a escolha dos artigos foram considerados os seguintes aspectos: disponibilidade do texto integral do estudo, estar em português do Brasil e de Portugal, inglês ou espanhol.

II. DESENVOLVIMENTO

1. Propriedades dos cimentos na endodontia

O êxito da terapêutica endodôntica depende de uma boa limpeza para uma posterior obturação dos canais radiculares, visando a obtenção de um perfeito selamento, com a finalidade de impedir que tratamento endodôntico falhe. Desta maneira, é essencial a obtenção da união de materiais consistentes para que a ligação seja o mais biocompatível com os tecidos biológicos (Teixeira, 2014).

As características físicas, químicas e biológicas de um cimento ideal deverá apresentar um bom selamento, biocompatibilidade, radiopacidade¹, desempenho antimicrobiano, estabilidade dimensional², insolubilidade ao ambiente oral e aos fluídos dos tecidos³, apresentar escoamento apropriado, baixa viscosidade, preencher irregularidades e locais entre os cones de guta-percha e as paredes dentinárias, ser de fácil manipulação, não alterar a cor da coroa do dente, apresentar adequado tempo de trabalho, ajuste e aderência às paredes do canal radicular, ser reabsorvido no periápice quando ocorrer extravasamento, estimular ou possibilitar a deposição de tecido de reparação e facilidade de remoção quando necessário (Marques et al., 2011).

De acordo com Desai & Chandler (2009), Grossman (1982) reuniu 13 requisitos e propriedades para que um cimento seja considerado ideal. Alguns destes são: 1) o cimento deverá apresentar fluidez após a mistura para obtenção de uma boa adesão; 2) proporcionar selamento hermético; 3) ser radiopaco para que seja visto na radiografia; 4) o pó deverá ser biocompatível perante tecido periapical; 5) apresenta solubilidade aos solventes comuns, no caso de necessidade de remoção da obturação do canal radicular; 6) não apresenta citotoxicidade.

¹ A ISO 6876/201213 (*International Organization for Standardization*) aponta que a radiopacidade deve apresentar-se maior do que a espessura de alumínio de 3mm.

² A norma ISO 6876/2012, descreveu que a alteração dimensional não deverá ultrapassar em 1,0% de redução ou 0,1% em expansão (*International Organization For Standardization. ISO 6876: Dental root canal sealing materials, 2012*).

³ A ISO 6876/2012 e a ANSI/ADA Especificação 57 (2008) descrevem que a solubilidade do cimento não poderá ultrapassar 3% da parcela de massa, não ocorrendo traços de desintegração (*American Dental Association. Endodontic filling and sealing materials: Laboratory testing methods, 2008*).

Além dessas propriedades espera-se que seja económico de fácil manipulação (Asgary et al., 2008).

A procura de um cimento endodôntico que apresente as características ideais é bastante complexo, pois alguns cimentos possuem propriedades físicas e químicas superiores e a compatibilidade biológica não se apresenta aceitável, existindo a necessidade de equilibrar as suas características com uso do material na terapia endodôntica (Valentim et al., 2016).

1.1 Atividade antimicrobiana

Na terapia pulpar procura-se a indução, através da aplicação de materiais biocompatíveis, a diferenciação de células produtoras de tecido calcificado, formando uma barreira mineralizada que protege a polpa de infiltrações microbianas (Obeid et al., 2013).

A filosofia do tratamento endodôntico tem como base os conceitos de limpeza, moldagem e obturação tridimensional do sistema de canais radiculares. Mas, a anatomia dentária interna apresenta uma grande influência na previsibilidade do tratamento endodôntico instituído. Várias áreas do sistema de canais radiculares não conseguem ser completamente limpas e obturadas, podendo conter microrganismos (Valentim et al., 2016).

Idealmente, o cimento obturador deve eliminar a microbiota remanescente e permitir o selamento adequado dos canais dentinários e ramificações do sistema de canais radiculares (Leonardo, 2005).

A atividade antimicrobiana é considerada fundamental pela possibilidade de manutenção de microrganismos nos túbulos dentinários e divisões do canal principal, mesmo depois do preparo químico-mecânico e o emprego do curativo de demora. Desta forma, o cimento deverá eliminar a microbiota remanescente e permitir o adequado selamento de canalículos dentinários e ramificações do sistema de canais radiculares (Leonardo, 2005).

Para Oliveira & Duque (2013) em relação às propriedades biológicas, os cimentos obturadores endodônticos devem ser biocompatíveis aos tecidos apicais/periapicais, promovendo a estimulação osteogénica e, principalmente, apresentando atividade antimicrobiana.

1.2 Capacidade de vedação

A microinfiltração é definida como a difusão de bactérias, fluídos orais, iões e moléculas no dente e na interface do material de preenchimento ou como o acesso clinicamente indetetável de bactérias, fluídos, moléculas ou iões entre o dente e o material restaurador ou de obturação canalal (Mulyar et al., 2014).

Capacidade de vedação significa, capacidade de um material resistir à microinfiltração em toda a sua espessura. A remoção de materiais irritantes dos canais radiculares infetados para os tecidos peri-radiculares é a principal causa da maioria das falhas endodônticas. Posto isto, um selo apical eficiente é essencial para aumentar o sucesso endodôntico (Mulyar et al., 2014).

O cimento endodôntico deve apresentar capacidade de complementar o isolamento e apresentar como propriedades a adequada consistência e adesão às paredes dentinárias (Valentim et al., 2016).

Como bom escoamento, Bernardes et al. (2010) descreveram que se trata da habilidade de um cimento endodôntico aprofundar nos tecidos infetados e canais acessórios do sistema de canais radiculares.

A avaliação da microinfiltração pode ser realizada por vários métodos e dispositivos, como modelos de filtração de fluídos, extração de corantes, penetração de corantes, remoção de bactérias e proteínas. Novos métodos alternativos são introduzidos recentemente, como cárie artificial, isótopos radioativos, microscopia eletrónica de varredura, análise de ativação de neutrões e condutividade elétrica. O sistema de filtração de fluídos é amplamente utilizado na literatura para avaliação de microinfiltrações. Esta técnica avalia a capacidade de isolamento de diferentes materiais restauradores e endodônticos. Portanto, este método ganhou notoriedade na endodontia para a avaliação da microinfiltração apical ou coronal (Nabeel et al., 2019).

A capacidade de isolamento é uma característica essencial dos materiais radiculares que determina o sucesso da cirurgia periapical. As metodologias comuns usadas para avaliar remoções apicais e coronais incluem o método de penetração e extração do corante, o método de filtragem ou transporte de fluídos e o método de infiltração de bactérias e toxinas (Tang et al., 2019).

1.3 Biocompatibilidade

Pesquisas têm sido realizadas a respeito da capacidade de vários materiais em fornecer o reparo e a regeneração dos tecidos do complexo dentino-pulpar (Cooper et al., 2010).

A biocompatibilidade pode ser definida como a capacidade de um material exercer suas funções, quando aplicado em tecidos vivos, sem causar danos ou prejuízos ao mesmo (Jorge,2004;Anusavice,2013).

Quando um material não é biocompatível com os tecidos, pode causar reações inflamatórias, alérgicas ou de fundo carcinogénico (Al-Hiyasat 2010).

O tecido da polpa dentária é de origem mesenquimatosa, no qual se encontram células, substância fundamental amorfa, fibras, vasos sanguíneos, vasos linfáticos e nervos, espalhados nas zonas: odontoblástica, acelular, celular e central. Estes componentes, por meio de um processo dinâmico e interligado, respondem pelas funções de nutrição, defesa, inervação e formação do elemento dentário. Normalmente os odontoblastos da periferia da polpa promovem a dentinogénese e, ao longo da vida clínica do elemento dentário, formam dentina terciária em defesa a vários estímulos. No caso de uma agressão bacteriana que poderá levar à morte de odontoblastos pré-existentes, as células indiferenciadas da polpa transformam-se em odontoblastos de reposição (odontoblastóides) e promovem o reparo e a remineralização (Cooper et al., 2010).

A biocompatibilidade de um material dentário é uma condição significativa que deverá ser levada em consideração especificamente no caso de ser usado em proteção pulpar, reparo de perfuração ou como obturação canalar retrógrada. Durante os procedimentos mencionados, o material está em contato direto com o tecido conjuntivo e tem o potencial de afetar a viabilidade das células perirradiculares e pulpares. A morte celular nessas circunstâncias ocorre devido a apoptose ou necrose (Akbulut et al., 2018).

A viabilidade da polpa dentária forma a base da função dentária, e os materiais biocompatíveis desempenham um papel fundamental na reparação da polpa dentária exposta após a lesão, garantindo a regeneração dos dentes lesionados ou danificados (Adıgüzel et al., 2019).

A terapia pulpar vital inclui a colocação de materiais biocompatíveis, a proteção da saúde da polpa exposta usando o efeito bioindicador e a estimulação do reparo através da formação de tecido mineralizado (Accorinte et al., 2008; Adıgüzel et al., 2019; Camargo et al., 2009).

1.4 Citotoxicidade

Na terapia pulpar destinada à proteção da saúde da polpa, os materiais aplicados e o tecido pulpar estão em contato. Portanto, o grau de toxicidade do material é altamente importante (Cornélio et al., 2011).

É essencial evitar materiais tóxicos e preferir materiais que promovam reparos ou que sejam biologicamente neutros durante procedimentos nos quais o material está diretamente em contato com o tecido circundante (Malkondu et al., 2014).

Cuidados devem ser tomados com a biocompatibilidade e citotoxicidade do material dentário quando usado como reparo de perfuração de furca, obturação canal retrógrada ou agente de captação de polpa para evitar o efeito tóxico no tecido ao redor (células pulpare e perirradiculares) (Kaur et al., 2017).

Existem vários testes *in vitro* para avaliar a citotoxicidade de diversos materiais, um deles é o ensaio do MTT (3-(4,5-dimetiltiazol-2il)-2-5-difenil-2H tetrazolato de bromo), que consiste em avaliar a viabilidade celular através de uma atividade mitocondrial. Este é um teste bem aceito na literatura para avaliação de materiais endodônticos (Al-Hiyasat, Tayyar e Darmani 2010; Ashraf et al., 2012; Scelza, Coil e Alves 2012; Candeiro et al., 2015; Mestiere et al. 2015; Rodríguez-Lozano et al., 2015; Silva et al., 2015).

1.5 Bioatividade

Um material pode ser considerado bioativo se produzir uma resposta positiva do hospedeiro, devendo ser capaz de provocar uma resposta biológica na interface e induzir a formação de uma ligação entre o tecido e o material. O conceito de bioatividade está intimamente correlacionado com a biointeratividade, ou seja, a capacidade de trocar informações dentro de um sistema biológico. Isto significa que um material bioativo reage quimicamente com os fluídos corporais de maneira compatível com os processos de reparo do tecido (Gandolfi et al., 2010).

Aplicações focadas nas terapias regenerativas exigem que os materiais dentários tenham potencial indutivo nas células para regeneração. Os constituintes do material são fatores importantes que determinam a interação do material com as células e seu ambiente. Cimentos derivados de silicato de cálcio tem capacidade de provocar o crescimento de fibroblastos periodontais e permitir o desenvolvimento e a distinção de células pulpares dentárias (Güven et al., 2013).

1.6 Resistência à compressão

A resistência à compressão é considerada como uma das principais características físicas dos cimentos. Visando que uma área significativa da utilização destes cimentos são terapias de polpa vitais, sendo necessário que o cimento apresente a capacidade de suportar forças mastigatórias, ou seja, apresentar compressão e força necessárias para resistir aos impactos externos (Malkondu et al., 2014). Os autores apontam também que a resistência à flexão de qualquer material é um fator importante que deverá ser observado, tendo em vista que diminui o risco de fratura.

2. Agregado trióxido mineral (mta)

O MTA é um cimento em que a constituição contém os componentes silicato tricálcico, aluminato tricálcico, óxido de silicato, óxido de bismuto e ainda quantidades baixas de outros óxidos que transformam as características químicas e físicas (Marcato et al., 2012; Shahi et al., 2017).

A apresentação do MTA compreende um pó branco ou cinzento, constituído por substâncias hidrófilas finas de silicato tricálcico, aluminato tricálcico, óxido tricálcico e óxido de silicato que solidifica quando em contato com a humidade. Pós de óxido de bismuto vem sendo acrescentado ao MTA para lhe conferir maior radiopacidade (Vajrabhaya et al., 2006). Podemos observar a sua constituição na Tabela 1.

Composição do Pó	Porcentagem
Silicato Tricálcico	66.1
Silicato Dicálcico	8.4
Aluminato Tricálcico	2.0
Tetracalciumaluminoferrite	-
Sulfato de Cálcio	-
Óxido de Bismuto	14
Óxido de Cálcio	8
Óxido de Silício	0.5
Óxido de alumínio	1.0

Tabela 1 – Composição do MTA (Adaptado de Kaur et al., 2017).

As principais propriedades físico-químicas e mecânicas deste cimento são: baixa solubilidade, capacidade de adesão à dentina, resistência relativa à humidade e resistência à compressão. Estas características estão situadas nos parâmetros próximos ao satisfatório, porém, dependem da proporção pó/líquido, temperatura e presença de ar e humidade (Post et al., 2010).

Sua capacidade de estimular a formação de uma ponte dentinária, conseqüentemente leva à cicatrização pulpar (Kim et al., 2016).

Na Medicina Dentária, o MTA é indicado nos casos de apicificações radiculares, em ocasiões que exigem apicectomias com retrobturações e nos túbulos em que existe necessidade de realização de proteção pulpar direta (Marcato et al., 2012).

Em comparação a outros cimentos, o MTA possui vantagens como ausência ou baixa de resposta inflamatória tecidual, baixa infiltração e tendo em conta o seu pH básico apresenta propriedades antimicrobianas. O MTA sobressai-se por ser de manipulação fácil, por beneficiar a composição de tecido duro, ter baixa dissolução e ser radiopaco (Marcato et al., 2012).

O MTA apresenta excelente biocompatibilidade sem potencial mutagénico, capacidade de selamento e deposição de cimento, promovendo a regeneração do tecido periodontal e

a formação de tecido mineralizado (Kim et al., 2016). Verificou-se que o MTA tem efeitos anti-inflamatórios no tecido pulpar e confirmam-se os efeitos cimentocondutivos e osteocondutores (Raghavendra et al. 2012).

O MTA apresenta propriedades físico-químicas que podem fornecer resultados excepcionais quando utilizado para obturação total ou parcial dos túbulos. Algumas destas características são observadas inicialmente durante o processo de hidratação, quando silicatos de cálcio reagem para formar hidróxido e gel de silicato de cálcio, atingindo um pH alcalino. Acredita-se que a biocompatibilidade do cimento é atribuída à liberação de íons hidroxila e à formação de hidróxido de cálcio durante o processo de hidratação (Mahmoud Torabinejad & Parirokh, 2010).

Ao estudar o processo de reparo em perfurações radiculares laterais seladas com o MTA, Holland et al. (2001) observaram ausência de inflamação no ligamento periodontal, além de deposição de cimento sobre o material na maioria dos casos. Concluíram que os resultados positivos obtidos com o MTA suportaram a sua função no reparo de perfurações radiculares e ter potencial para conduzir e induzir cimentoblastos e osteoblastos, além de libertar os principais componentes catiónicos e desencadeiam a superfície de precipitados química e estruturalmente semelhante à hidroxiapatite (Tessare Jr. et al., 2005).

A capacidade do MTA em induzir a resposta celular deve-se à fase do fosfato de cálcio, que pode causar uma mudança no comportamento celular, simulando a adesão dos osteoblastos a esse material. Além disso, o MTA é não mutagénico ou não neurotóxico e não produz efeito colateral na microcirculação (Oliveira et al., 2011).

A excelente bioatividade, ou seja, capacidade de formação de hidroxiapatite pode fornecer uma vantagem clínica significativa sobre os cimentos tradicionais usados para reparos de raiz ou perfuração de raiz e podem estar correlacionadas com sua biocompatibilidade, osteocondutividade e osteoindutividade ideais demonstradas em estudos clínicos e laboratoriais (Gandolfi et al., 2010).

Porém, o MTA demonstra algumas desvantagens, como um tempo de presa extenso, baixa resistência à compressão e um elevado custo económico (Marcato et al., 2012).

Algumas características do MTA têm sido apontadas como limitantes do uso por dificultarem sua aplicação, existindo perda inicial do material, uma vez que este é pouco aderente em determinados locais. Podem ser destacados fatores desfavoráveis, como: consistência granulosa, tempo de trabalho curto e tempo de presa lento (Porter et al., 2010).

O uso do MTA foi avaliado através de um caso clínico, onde foram observadas lesões periapicais associadas às raízes imaturas dos mesmos numa radiografia panorâmica que foi solicitada em uma avaliação ortodôntica. Durante a anamnese o doente relatou trauma há 7 anos e nunca ter tido dores, não sendo notado nenhuma alteração em relação aquele dente. Ao fazer teste de vitalidade e percussão apresentou resposta negativa, não havia mobilidade dentária, edema ou alteração de cor na coroa. No entanto, havia uma fístula na localização do dente 12 onde através de uma radiografia e rastreamento com cone de guta-percha foi comprovado a sua ligação com a lesão periapical presente em torno deste dente (Figura 1B).

Já no dente 11 apresentava restauração classe IV de resina composta, que segundo a paciente, foi realizada devido à fratura coronária no momento do trauma.

Optou-se por realizar a apexificação com o plug de MTA no dente 11 por estar com o processo de rizogênese mais avançado, apresentando paredes dentinárias mais espessas e ápex mais fechado, parecendo o dente menos fragilizado. Já o dente 12 apresentava grande abertura apical e paredes dentinárias mais finas, e por este motivo a escolha de tratamento foi a revascularização pulpar.

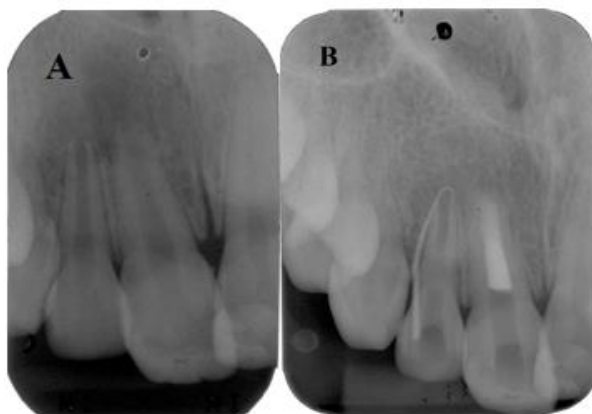


Figura 1 - A) Rx inicial dos dentes, B) rastreamento de fístula.

A câmara pulpar foi irrigada cuidadosamente com hipoclorito de sódio a 1% e subtraindo-se 2 mm do comprimento aparente do dente na radiografia (CAD), o canal foi explorado por terços (penetração e desinfecção) com uma lima Flexofile #15 (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Suíça) até alcançar o comprimento pré-estabelecido. Após a odontometria, realizada pelo método radiográfico, a instrumentação foi realizada de forma passiva com uma lima de maior calibre (#50) calibrada no comprimento do dente (CD), de forma a não desgastar ainda mais as paredes finas das raízes, sendo o canal radicular irrigado constantemente com hipoclorito de sódio 1%.

Depois, o canal foi seco com cones de papel absorvente (#80), preenchido com pasta de hidróxido de cálcio (Calen, SS White, São Paulo, Brasil.) seguido do selamento da cavidade de acesso com material restaurador provisório (Bioplic, Biodinâmica, Ibioporã, Brasil).

A segunda consulta foi realizada após duas semanas. O dente foi isolado, o material restaurador provisório e o curativo foram removidos com irrigação abundante de hipoclorito de sódio a 1% e passagem da lima #50. Realizada a secagem, o MTA (Angelus Soluções Odontológicas, Londrina, PR, Brasil) foi manipulado de acordo com as recomendações do fabricante e levado ao canal em pequenas porções por meio de espiral broca de Lentulo.

As porções foram colocadas no terço apical com algodão umedecido enrolado numa lima #60, e depois condensadas com calcador de Paiva nº 3, até à obtenção de um plug apical de mais ou menos 3mm (Bortoluzzi, Broon, Bramante, 2004). Após o procedimento, uma radiografia periapical foi realizada com o objetivo de avaliar a espessura e qualidade do plug formado (Figura 2). Em seguida, um cone de papel humedecido em água destilada foi colocado sobre o plug e a cavidade de acesso selada novamente.



Figura 2 - Rx para verificação da espessura e homogeneidade do plug com MTA

(Fonte: FELISBERTO,2017,p.18)

Após uma semana, o selamento e o cone de papel absorvente foram removidos, o canal foi preenchido com guta-percha termoplastificada utilizando o Sistema Obtura II (Sybronendo, Orange, CA, EUA) e cimento Fillapex (Angelus Soluções Odontológicas, Londrina, PR, Brasil). Finalmente o dente foi restaurado definitivamente com resina composta (Opallis, FGM, Joinville, Brasil) (Figura 3).



Figura 3 - Rx Final após obturação.(Fonte: FELISBERTO,2017,p.18)

Após 10 meses, foi realizada uma avaliação clínica do dente 11, o qual estava íntegro e sem sensibilidade dolorosa. Radiograficamente foi observado reparo da lesão periapical com neoformação da lâmina dura. O tratamento foi considerado como bem sucedido (Figura 4).



Figura 4 - Preservação após 10 meses

(Fonte : FELISBERTO,2017,p.16)

Outro caso clínico, onde houve uma fratura como consequência de um trauma no dente 22. O paciente sofreu uma queda após um desmaio o que causou um trauma na região dos anteriores, havendo luxação lateral e intrusão dos centrais e do lateral, dente 22. Ao recorrer ao Médico Dentista, verificou-se que o dente 22 tinha intruído e os dentes 11 e 21 tinham palatinizado. Foi pedido uma tomografia como meio complementar de diagnóstico, onde se detetou fratura no 22 e necrose (Figuras 5 e 6). Por fim, foi feito o reposicionamento e colocação de uma contenção, tendo sido feito acompanhamento ao longo do tempo (Figura 7).

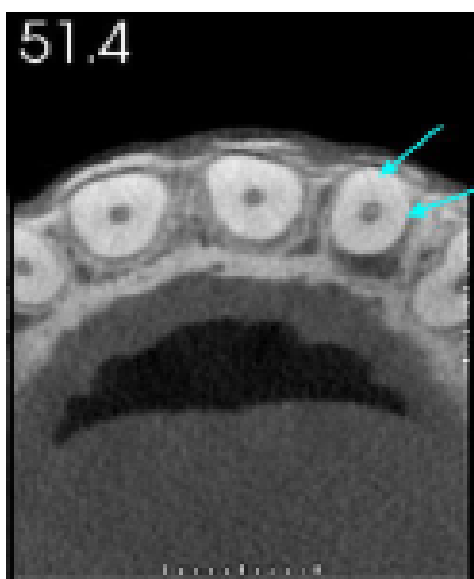


Figura 5 - Tomografia que revela fratura no dente 22.(Elaborada por Soray Silva)

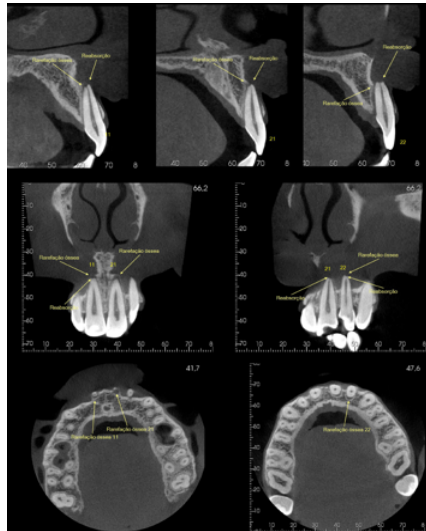


Figura 6 - Rarefação e reabsorção óssea no dente 22. (Elaborada por Soray Silva)



Figura 7 - Obturação feita com MTA. Acompanhamento com o paciente a cada 6 meses. Sem sintomatologia e com prognóstico eficaz.

(Elaborada por Soray Silva)

3. BIODENTINE (BD)

O BD é composto por uma porção sólida constituído por um pó de silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), carbonato de cálcio (CaCO_3) e óxido de zircônio (ZrO_2) e uma porção líquida com cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2, 2\text{H}_2\text{O}$) (Kim et al., 2016).

O silicato tricálcico e o silicato bicálcico são indicados como materiais básicos, e no caso do óxido de zircônio, o papel deste é de radiopacificador. Por outro lado, o líquido possui como acelerador o cloreto de cálcio e um polímero hidrossolúvel que serve como agente redutor de água (Malkondu et al., 2014).

O Biodentine está disponível na forma de cápsula contendo a proporção ideal de seu pó e líquido. A composição do pó é apresentada na Tabela 2 enquanto o líquido contém cloreto de cálcio que age como um acelerador, a função do polímero hidrossolúvel como agente redutor de água. Porém, a concentração exata de seus componentes não foi fornecida pelo fabricante, vários pesquisadores estudaram o mesmo e forneceram os dados. Um desses estudos, realizado por Camilleri et al. (2013), revelou a concentração dos componentes do Biodentine.

Pó	Porcentagem
Silicato Tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) (Material do núcleo principal)	80.1
Silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) (material do segundo núcleo)	-
Carbonato de cálcio (CaCO_2) (enchimento)	14.9
Óxido de zircônio (ZrO_2) (radioopacificador)	5
Óxido de ferro (agente corante)	-

Tabela 2 - Composição da Biodentine (Adaptado de Kaur et al., 2017).

Os materiais à base de silicato de cálcio apresentam boa capacidade de selamento, tolerância tecidual, ausência de contração após a presa, pH elevado (antibacteriano), facilidade de manipulação e são quimicamente estáveis em ambiente biológico (Candeiro et al., 2012; Koch & Brave, 2009; Liu et al., 2015; Loushine et al., 2011; Lv et al., 2017). São considerados bioativos, por apresentarem capacidade de interagir com os tecidos circundantes e promover osteogênese (Gandolfi et al., 2017).

A partir da hidratação do material, durante o processo de presa, ocorre formação de cristais de hidroxiapatite entre a superfície do material e a parede de dentina, os quais podem fornecer um adequado isolamento e adaptação marginal nessa interface (Almeida et al., 2017; Ayatollahi et al., 2017; Loushine et al., 2011).

Os materiais a base de silicato de cálcio foram introduzidos de forma a serem utilizados como cimentos obturadores do canal radicular e em retrobturações (Almeida et al., 2017).

O principal objetivo do uso de um cimento retrobturador é promover um selamento apical para prevenir a infiltração de bactérias e dos seus subprodutos para os tecidos periapicais (Bernabé et al., 2007).

Enfatiza-se que o material retrobturador ideal deve promover o selamento tridimensional do canal radicular, impedir a infiltração bacteriana, ser biologicamente tolerado pelos tecidos periapicais, não ser reabsorvível, de fácil manipulação, dimensionalmente estável, radiopaco e possibilitar o reparo tecidual (Kokate & Pawar, 2010; Torabinejad et al., 1993).

A retrobturação é um procedimento importante que visa impedir a microinfiltração de irritantes nos tecidos periapicais, sendo que, uma retrobturação insuficiente é considerada a principal causa de insucesso no procedimento cirúrgico (Bolhari et al., 2015).

Afirma-se que o tempo de endurecimento rápido, característica única do produto, é alcançado com o aumento do tamanho das partículas, adicionando cloreto de cálcio ao componente líquido e diminuindo o conteúdo do mesmo. O período de ajuste do material é de 9 a 12 minutos (Malkondu et al., 2014).

O BD é um material em potencial para a proteção do coágulo sanguíneo nos procedimentos de revascularização pulpar em razão da sua consistência, facilidade de manipulação e composição de silicato de cálcio (Bortoluzzi et al., 2015).

O BD tem uma ampla gama de aplicações, incluindo reparo endodôntico (perfurações radiculares, apexificação, lesões reabsortivas e material de preenchimento retrógrado em cirurgia endodôntica), proteção pulpar direta e indireta, podendo ser utilizado como material de restituição de dentina em Medicina Dentária restauradora (Malkondu et al., 2014); restauração de lesões grandes e profundas bem como reatuação de grandes cáries

coronárias; restauração de lesões cervicais e radiculares profundas e cirurgia endodôntica (Camilleri et al., 2013).

Este material é considerado um cimento com potencial regenerativo promissor. Os agentes de proteção pulpar, além das suas propriedades regenerativas, também são ideais para ter propriedades sedativas e de alívio da dor adicionais para aumentar sua eficácia clínica (El Karim et al., 2016).

É bioativo e não tóxico, fornecendo selamento marginal aderido tanto à dentina quanto ao esmalte. Quando aplicado diretamente sobre a polpa induz mineralização e completa a formação da ponte dentinária após 6 semanas, verificado em estudos com dentes humanos (Bakhtiar et al., 2017).

O BD é promissor para procedimentos clínicos em Medicina Dentária como produto biocompatível e de fácil manipulação, com tempo de presa reduzido, no entanto, mais pesquisas devem ser realizadas sobre a alternativa desse material em relação ao MTA, fornecendo dados mais fiéis para aplicações clínicas de rotina (Malkondu et al., 2014).

Desta forma, tendo em conta as propriedades físicas, químicas e biológicas satisfatórias, o surgimento de novos materiais e técnicas atribuídos à especialidade endodôntica nos últimos anos disponibiliza novas concepções e previsibilidade à terapêutica proposta.

Neste caso clínico podemos notar a eficácia de um selamento com biodentine e material biocerâmico (Figura 8, 9 e 10). O dente 46, apresentava uma fístula por vestibular. Ao pedir tomografia, verificou-se obliteração e calcificação da câmara pulpar. Mesmo com todo o prognóstico insatisfatório, o doente quis tentar salvar o dente. Após 8 meses de preservação, verificou-se a eficácia nos tecidos adjacentes e não voltou a ocorrer infecção (Figura 11).

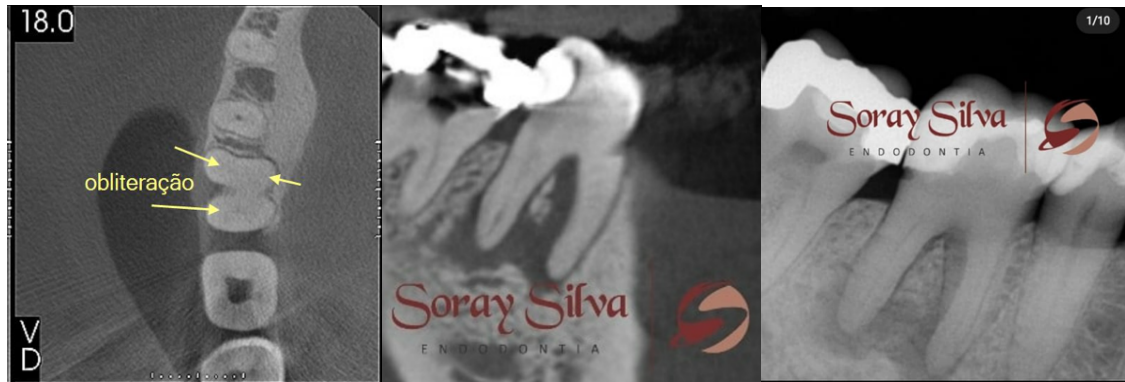


Figura 8 - Tomografia inicial do dente 46, constatando obliteração parcial dos canais e calcificação da câmara pulpar. (Elaborada por Soray Silva)



Figura 9 - Rastreamento de fístula. Paciente tinha dor e não queria extrair o dente. (Elaborada por Soray Silva)



Figura 10 - devido a ausência de microscópio, foi feita uma tentativa de acesso guiado com ultrassom para localizar os canais. (Elaborada por Soray Silva)



*Figura 11 - Endodontia finalizada usando material bioceramico e Biodentine. Acompanhamento após 8 meses.
(Elaborada por Soray Silva)*

4. MTA versus BD

Kuratate et al. (2008) investigou o processo reparador de polpas expostas mecanicamente, cobertas com MTA e observou a capacidade deste material de induzir o reparo de tecidos duros em polpas expostas, demonstrando ainda que o processo reparador envolve a deposição inicial de osteopontina (proteína relacionada a tecidos duros) na camada superficial da matriz pulpar seguida de aumento da proliferação celular e aparecimento de nestina-imunorreativa (filamento intermediário) expressa em odontoblastos diferenciados. Esses resultados sugeriram que a dentinogênese reparadora em resposta ao MTA envolve a proliferação, migração e diferenciação de células semelhantes aos odontoblastos, podendo representar o principal processo natural de cicatrização das polpas expostas.

Gandolfi et al. (2010) enquanto investigava se o ProRoot MTA possuía bioatividade no estágio inicial com a capacidade de formar hidroxiapatite dentro de algumas horas após a imersão em solução com fosfato, demonstrou claramente que o cimento ProRoot MTA possui alta bioatividade e também que a morfologia da superfície e a composição química são rapidamente modificadas por imersão em solução de fosfato. Os autores concluíram que o cimento é uma espécie de agente remineralizante e reservatório capaz de promover a deposição de hidroxiapatite, contribuindo para manter um selamento estável quando colocado nas cavidades das raízes, promovendo o crescimento de osteoblastos.

No caso do BD, possui propriedades bioativas que estimulam a regeneração do tecido duro não provocando sinais de resposta moderada ou grave à inflamação pulpar. Este material tem capacidade de manter a integridade marginal bem-sucedida devido à formação de cristais de hidroxiapatite na superfície, aumentando a capacidade de selamento. Devido ao seu potencial superior de selamento, não há risco de microinfiltração, o que pode causar infecção ou necrose da polpa e comprometer o sucesso dos procedimentos vitais de tratamento (Shayegan et al., 2009).

Investigações sobre as interações do BD com a dentina revelaram que este material penetra na dentina, formando microestruturas nos túbulos.

Laurent et al. (2012) realizaram um estudo na tentativa de avaliar a capacidade do BD provocar a síntese de dentina reparadora, investigando a sua capacidade de modular a secreção de fator de Crescimento Transformador-beta (TGF- β 1) por células da polpa. Para isso, o BD foi aplicado diretamente sobre a polpa dentária num modelo de cultura de dente humano. Após os períodos de cultura, foi analisada a interação do material com a polpa dentária em secções de tecido. O efeito de aumentar a área de superfície do material sobre a secreção de TGF- β 1 foi investigado em culturas de células em membrana de celulose e comparada com a de MTA, hidróxido de cálcio e resina adesiva Xeno®III. Após a realização de lesões artificiais em culturas de células de celulose, os materiais foram adicionados durante 24h e, em seguida, a secreção de TGF- β 1 foi quantificada por ELISA.

Os autores concluíram que o BD induziu a formação de focos mineralizados logo após sua aplicação. A mineralização apareceu sob a forma de osteodentina e expressou marcadores de odontoblastos. Além disso, a secreção de TGF- β 1 a partir de células de celulose aumentou significativamente. O estudo forneceu uma percepção mais esclarecida dos eventos moleculares resultantes das relações entre cimentos à base de silicato de cálcio e o tecido da polpa dental. Quando empregados diretamente na polpa, induzem uma forma precoce de dentina reparadora em razão da modulação na secreção de TGF- β 1 das células da polpa dentária, afetando a formação de dentina reparadora.

Em um estudo realizado por Guneser et al. (2013), a resistência de união push-out BD, ProRoot MTA, amálgama, Dyract AP (tipo de cimento de iônomo de vidro) e Material Restaurador Intermediário (IRM) foram avaliados em soluções irrigadoras de hipoclorito

de sódio (NaOCl) a 3,5% ou gluconato de clorexidina (CHX) a 2%, ou ainda solução salina por 30 minutos. Após incubação durante 48 horas, a resistência ao desalojamento das amostras foi medida.

Foi demonstrado que o BD apresentou maior resistência de união push-out do que o MTA. A resistência de união push-out de Dyract AP, amálgama, IRM, e BD não foi significativamente diferente quando imerso em NaOCl, CHX e soluções salinas, enquanto MTA perdeu força quando expostos a CHX.

Portanto, BD apresentou desempenho considerável como um material de reparo em caso de perfurações mesmo depois de exposto a vários irrigantes, sendo que o MTA apresentou a menor resistência de união push-out na dentina radicular.

Um estudo clínico e histológico realizado em molares a serem extraídos por razões ortodônticas mostrou que o BD teve uma eficácia semelhante ao MTA no contexto clínico e pode muito bem ser considerada uma alternativa para procedimentos de proteção pulpar. A principal descoberta observada foi a formação completa da ponte dentinária e a ausência de resposta inflamatória (Nowicka et al., 2013).

O uso de BD foi avaliado como um material convencional em um estudo em que se descreveu a manipulação de uma grande lesão periapical associada aos incisivos centrais e laterais superiores direitos de um paciente de 24 anos de idade, com histórico de lesão traumática prévia. Após a utilização de BD como material convencional na cirurgia apical o paciente foi acompanhado por um período de 18 meses onde foi evidente a cicatrização periapical progressiva (Pawar et al., 2013).

Villat et al. (2013) realizaram uma pulpotomia parcial num segundo pré-molar imaturo de um paciente de 12 anos de idade, no qual acompanharam até 6 meses. Os autores detetaram uma rápida resposta tecidual radiologicamente evidente pela formação da ponte dentinária e pela continuação do desenvolvimento radicular a curto prazo. Além disso, nenhuma dor ou queixa foi relatada pelo paciente durante o período de observação.

Os autores concluíram que o BD parece oferecer uma intervenção terapêutica alternativa para manter a vitalidade da polpa nos dentes permanentes imaturos. Além disso, a sua manipulação e propriedades mecânicas, bem como o seu curto tempo de endurecimento, permitem que seja usado como substituto convencional da dentina. É importante a

realização de mais estudos clínicos para validar as observações. Técnicas conservadoras que melhorem os resultados do tratamento em dentes permanentes imaturos com doenças pulpares inflamatórias e infecciosas devem ser incentivadas.

Num estudo de Attik et al. (2014) avaliaram e compararam a citotoxicidade *in vitro* de BD e MTA, analisando a morfologia e a proliferação celular de células semelhantes a osteoblastos MG63. A topografia e rugosidade da superfície de ambos os cimentos dentários também foram determinados para avaliar os efeitos das modificações químicas na topografia de cimento dentário e, conseqüentemente, no seu comportamento de biocompatibilidade.

Os autores observaram que o BD com altas propriedades mecânicas e um tempo de presa curto, comportou-se de maneira semelhante ao MTA em termos de rugosidade da superfície, citotoxicidade e fixação celular, estimulando a ligação e proliferação celular. Também foi descrito que o MTA tem efeitos de osteocondução nas células ósseas e que o BD parece ter a mesma afinidade para as células MG63.

Luo et al. (2014) investigaram o efeito proliferativo, migratório e de adesão do BD, em quatro concentrações diferentes: 0,02mg/ml (BD 0,02), 0,2mg/ml (BD 0,2), 2mg/ml (BD 2) e 20 mg / ml (BD 20) nas células-tronco da polpa dental humana (hDPSCs) obtidas a partir de terceiros molares impactados. Este aumentou significativamente a proliferação de células-tronco nas concentrações de BD 0,2 e BD 2, enquanto diminuiu significativamente em concentrações mais altas de BD 20. A concentração de BD 0,2 teve um aumento estatisticamente significativo nas características de migração e adesão.

Os resultados do qRT-PCR mostraram que o BD 0.2 poderia ter efeito na expressão do mRNA de quimiocinas e moléculas de adesão em células-tronco da polpa dentária humana. Os dados sugerem que o BD é um material bioativo e biocompatível capaz de melhorar as habilidades de proliferação, migração e adesão de hDPSCs.

Em 2014, Mori et al. fizeram um trabalho com o propósito de avaliar a biocompatibilidade de três cimentos endodônticos, MTA, Óxido de zinco e eugenol (OZE) e BD em tecido subcutâneo de camundongos e observaram que, aos 7 dias, em contato com o BD o processo inflamatório foi moderado, mas aos 14 e 30 dias o processo inflamatório mostrou-se leve ou não significativo. Nas amostras de MTA foram observadas poucas

células inflamatórias durante os períodos analisados. Já nos espécimes de OZE, aos 7 dias, as células inflamatórias estavam ausentes, enquanto que, aos 14 e 30 dias o processo inflamatório foi classificado como grave ou moderado. Deste modo, concluiu-se que o BD foi biocompatível.

Ozbay et al. (2014) avaliaram a capacidade de selamento do BD em 21 dentes anteriores inferiores humanos extraídos e submetidos à preparação da raiz e instrumentados até a lima nº 40 pela técnica *step back* e divididos aleatoriamente em 3 grupos: MTA Angelus branco, BD e controle.

Os resultados mostraram que nenhum dos grupos foi completamente isolado. A comparação entre os materiais encontrou uma diferença significativa apenas entre o MTA Angelus e o BD. O MTA exibiu menor microinfiltração quando comparado ao Biodentine™, mas este último poderia ser usado como material alternativo para tratamentos endodônticos. Investigações adicionais *in vitro* e *in vivo* devem ser conduzidas para determinar a adequação do BD para aplicação clínica.

Soundappan et al. (2014) avaliaram a adaptação marginal do BD em comparação com o MTA e o IRM, como material de preenchimento final da raiz, utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de 32 incisivos centrais superiores permanentes e concluíram que a adaptação marginal ao nível de 1mm foi semelhante entre MTA, IRM e BD. No nível de 2mm, o MTA foi superior ao IRM e ao BD. De uma forma geral, o MTA e o IRM foram significativamente superior quando comparados ao BD em termos de adaptação marginal, quando utilizados como material de obturação canalar retrógrada.

Costa et al. (2016) compararam ProRoot MTA, MTA Plus, MTA Fillapex e BD quanto aos efeitos dependentes da dose e do tempo na propagação e diferenciação de células-tronco mesenquimais humanas (hMSCs) e células endoteliais de veia umbilical (HUVECs) e observaram que os extratos diluídos de MTA ProRoot e MTA Plus tiveram efeitos estimulantes evidentes na proliferação de hMSCs, na atividade da fosfatase alcalina e na regeneração *ex vivo* de defeitos ósseos; aumentaram o crescimento de HUVEC; organização de rede tubular normal permitida; e, *in vivo*, não afetou a angiogênese.

Comparativamente, o BD também provocou uma resposta favorável em hMSCs e HUVECs, mas o resultado osteogênico e angiogênico geral foi ligeiramente menor. O MTA Fillapex exibiu a maior toxicidade em hMSCs e HUVECs e, ao contrário dos outros materiais de selamento, apenas permitiu uma regeneração parcial dos defeitos ósseos. Os autores concluíram que estes causaram efeitos dependentes da dose e do tempo na resposta osteoblástica e endotelial, provocando perfis semelhantes de citocompatibilidade. Os resultados sugerem que a indução de eventos osteogênicos e angiogênicos podem contribuir para o resultado regenerativo dos cimentos.

Vallés et al. (2015) avaliaram a estabilidade da cor sob luz artificial de dentes humanos *ex vivo* restaurados coronariamente com MTA ou BD. Os resultados demonstraram que o MTA levou a uma mudança significativa de cor nos dentes, enquanto o BD não afeta a estabilidade da cor dos dentes. Os dentes restaurados com MTA mostraram descoloração acentuada no período de 1 semana, aumentando com o tempo. Estes achados sugerem um padrão rápido e severo de descoloração induzida pelo material. Os autores concluíram que os dentes tratados com MTA exibiram descoloração em 1 semana e aumentaram ao longo do tempo, enquanto os tratados com BD mantiveram a estabilidade da cor ao longo do estudo. No entanto, mais estudos *in vivo* são necessários para corroborar esses resultados.

Margunato et al. (2015) compararam o efeito do ProRoot MTA, Biodentine™ e MM-MTA em relação a viabilidade celular, capacidade de deposição de tecidos duros e diferenciação osteogênica de células-tronco da medula óssea humana (hBMSCs) derivadas do osso mandibular.

Os resultados do estudo demonstraram que MTA, BD e MM-MTA não exibiram efeito citotóxico em hBMSCs após 14 dias em cultura. Embora todos os materiais estimulem significativamente a diferenciação osteogênica de hBMSCs em comparação com o controle negativo, o ProRoot MTA mostrou maior osteoindutividade que o BD ou MM-MTA de acordo com a expressão do RNA mensageiro, fosfatase alcalina, imunocitoquímica e coloração.

No estudo de Escobar-García et al. (2016) que avaliou a citotoxicidade e adesão celular de MTA e BD em fibroblastos do ligamento periodontal (PDL) obtidas de terceiros molares não erupcionados, os autores concluíram que nenhum dos materiais foi citotóxico

durante o tempo avaliado. Os autores observaram ainda que BD foi o material mais biocompatível.

A capacidade do tecido de se regenerar e a propriedade antibacteriana de cimentos à base de MTA está relacionada com a dissociação nos íons cálcio e hidroxila. Os íons de cálcio libertados pelo cimento reagem e produzem grânulos de calcita quando o cimento entra em contato com o dióxido de carbono e o ácido carbônico do catabolismo celular. Além disso, há uma tendência para a fibronectina se acumular. Esta é uma glicoproteína encontrada no tecido e sintetizada por fibroblastos e células endoteliais. As glicoproteínas permitem adesão, diferenciação celular e crescimento, levando à deposição de tecidos mineralizados (Garcia et al., 2016).

Numa avaliação sobre a formação de dentina reparadora, Kim et al. (2016) observaram que o BD e o BioAggregate podem fornecer um ambiente ideal para a cicatrização e reparação da polpa, sendo comparáveis ao MTA. Embora houvesse algumas diferenças na espessura e morfologia do novo tecido duro, todos os três materiais apresentaram biocompatibilidade aceitável.

Samuel et al. (2016) compararam a capacidade de selamento do MTA e do BD quando utilizado para reparar as perfurações de furca em molares decíduos, utilizando MEV de 40 molares primários extraídos, colocados em solução de hipoclorito de sódio a 5,25% por 24 horas e lavados com água da torneira. Os resultados demonstraram que todos os dentes apresentaram microinfiltração, mas o BD mostrou significativamente menos escoamento em comparação com o MTA. Com base nos resultados, o BD apresentou menor infiltração em comparação ao MTA e, portanto, pode ser uma boa alternativa ao MTA.

Taha et al. (2017) avaliaram o resultado da pulpotomia completa com MTA em 52 dentes molares permanentes e expostos a cárie. Os resultados demonstraram que a taxa de recall variou de 92% em 3 meses a 80,3% em 3 anos, com um total de 100% de sucesso clínico e 97,5% radiográfico durante o primeiro ano e 92,7% de sucesso em 3 anos. Todos os casos com rarefação periapical foram associados à melhora do índice periapical (PAI).

Os autores concluíram, após 3 anos, que a pulpotomia total do MTA obteve grande sucesso clínico e radiográfico em dentes permanentes sintomáticos com exposições de

cárie. Dentes com sinais e sintomas clinicamente sugestivos de pulpíte irreversível ainda podem ter o potencial de cicatrizar após a pulpotomia total, pois é provável que a polpa radicular esteja inflamada. A observação a longo prazo pode confirmar os benefícios futuros desta opção de tratamento

Em certas situações clínicas, cimentos de silicato de cálcio podem ser aplicados na presença de infecção ou inflamação. Nesta condição, a superfície do material seria exposta a um ambiente ácido. A aplicação de cimentos de silicato de cálcio em pH mais baixo pode influenciar as propriedades físicas e químicas do material.

Linu et al. (2017) realizou um estudo para investigar as sequelas de proteção pulpar direta (PPD) usando MTA e BD em dentes permanentes maduros e expostos a cárie. Observaram que o grupo MTA apresentou uma taxa de sucesso de 84,6% e o grupo BD uma taxa de 92,3%. A taxa geral de sucesso foi de 88,5%. Entretanto, destacaram que ensaios clínicos randomizados, com tamanho de amostra apropriado e longos períodos de acompanhamento, são necessários para afirmar o potencial promissor de materiais biocerâmicos.

Marquezan et al. (2018) investigaram o resultado da transmissão sanguínea na resistência de união do BD e do MTA Angelus (MTA-A) à dentina, em distintos momentos. Os resultados mostraram que a relação entre infecção sanguínea *versus* tempo de hidratação foi bastante significativa para o MTA-A, mas não para o BD. Não existe diferenças significativas entre a resistência de união entre o BD contaminado e não contaminado, independentemente do período. Houve um aumento da resistência de união do MTA-A não-contaminado a cada tempo de hidratação. Apesar disso, manteve-se constante no decorrer do tempo para as amostras contaminadas com sangue. Em todos os períodos de hidratação o BD teve maior resistência de união que o MTA-A. Houve predomínio de falhas coesivas. A resistência de união no grupo MTA-A foi influenciada no decorrer do tempo.

Tomás-Catalá et al., (2018) avaliaram a citotoxicidade *in vitro* do MTA Repair HP, NeoMTA Plus e BD para proteção pulpar, em células-tronco da polpa dental humana (hDPSCs). Os autores observaram que a viabilidade celular foi moderada após 24 e 48 horas na presença de MTA Repair HP e NeoMTA Plus, enquanto que no tempo de 48 e 72 horas, o BD apresentou taxas mais altas de viabilidade celular que MTA Repair HP e

NeoMTA Plus. O ensaio de migração celular revelou taxas adequadas de migração celular para o MTA Repair HP e NeoMTA Plus, ambas semelhantes às taxas do grupo controle. A taxa mais alta de migração celular foi observada na presença de BD. A microscopia eletrônica de varredura mostrou um alto grau de proliferação e adesão celular em discos com BD e taxas moderadas nos discos MTA Repair HP e NeoMTA Plus.

Os autores concluíram que os novos materiais de proteção pulpar MTA Repair HP, NeoMTA Plus e BD demonstraram um grau adequado de citocompatibilidade com hDPSCs e boas taxas de migração celular, embora o BD tenha mostrado taxas mais altas de proliferação dependente do tempo.

Adigüzel, M., Ahmetoğlu, F., Eldeniz, A. U., Tekin, M. G., & Gögebakan, B. (2019) compararam a citotoxicidade *in vitro* de Theracal LC, BD, iRoot BP Plus e MTA-A em fibroblastos de polpa humana (HPF) e verificaram que Theracal LC foi mais citotóxico, considerando outros materiais vitais de proteção pulpar em intervalos de 24 (28,3%), 48 (44,9%) e 72 horas (49,2%). Por outro lado, o BD apresentou os menores efeitos citotóxicos (97,1%, 130,0% e 103,7%, respectivamente).

O material Theracal LC aumentou as taxas de apoptose/ necrose em comparação com os outros materiais. Baseado nos resultados BD, MTA-A e iRoot BP Plus podem ser classificados como materiais biocompatíveis em tratamentos endodônticos vitais. No entanto, Theracal LC deve ser utilizado com cuidado devido aos seus efeitos citotóxicos.

Nabeel et al. (2019) avaliaram a capacidade de isolamento do MTA ProRoot cinza *versus* BD como materiais de obturação dos canais e concluíram que embora a capacidade de vedação do ProRoot MTA seja superior ao BD, este pode ser considerado uma alternativa aceitável ao ProRoot MTA nas cirurgias peri-radiculares. Recomenda-se estudos comparativos adicionais sobre a biocompatibilidade do ProRoot MTA e BD como materiais de obturação canal.

Stringhini Junior et al. (2019) realizaram uma revisão sistemática e meta-análise de ensaios clínicos, usando nove bases de dados em 5 de agosto de 2017, com atualização em 14 de fevereiro de 2018, a fim de avaliar as taxas de sucesso clínico e radiográfico da pulpotomia de dentes decíduos realizada com BD, quando comparado ao MTA.

Foi observado neste estudo que, embora o MTA seja considerado o material padrão-ouro para procedimentos de pulpotomia, ele apresenta algumas desvantagens (manipulação inadequada, potencial de coloração, longo tempo de endurecimento). Neste estudo os autores concluíram que não existe superioridade de um material sobre o outro, MTA *versus* BD, mas sugerem que mais estudos precisam de ser realizados com uma amostra maior e maior tempo de acompanhamento.

Tang et al. (2019) compararam a citotoxicidade de MTA e BD num estudo onde 72 raízes de três cadelas beagle foram distribuídas aleatoriamente em 3 grupos (BD, MTA e controle em branco que não foram preparados ou preenchidos) e a cirurgia apical foi realizada. Após seis meses, o volume do defeito ósseo ao redor dessas raízes foi analisado por micro tomografia computadorizada. Baseado nos resultados do ensaio CCK-8, o MTA e o BD não mostraram diferenças estatisticamente significativas na citotoxicidade. Os autores concluíram que MTA e BD exibiram biocompatibilidade celular comparável. No estudo foi observado que BD mostrou uma capacidade de vedação superior ao MTA no preenchimento da raiz.

Youssef et al. (2019) compararam os efeitos osteogênicos, odontogênicos e angiogênicos *in vitro* do MTA, Ca(OH)₂, BD e Emdogain nas células-tronco da polpa dentária (DPSCs) para examinar os efeitos dos materiais testados na viabilidade celular.

Os autores observaram que todos os materiais testados afetaram a viabilidade celular das células da polpa dentária e promoveram mecanismos de reparação pulpar *in vitro* via regulação positiva de marcadores genéticos odontogênicos e angiogênicos em graus variados. Emdogain foi o menos tóxico para os DPSCs em comparação com MTA, Ca(OH)₂ e BD. No caso de potencial osteogênico de DPSCs, a expressão gênica de marcadores osteogênicos e odontogênicos foi aumentada pelos quatro materiais testados. Para a expressão do VEGF do marcador de angiogênese, descobriram que todos os materiais testados aumentaram a expressão do VEGF, exceto Ca(OH)₂.

Os resultados sugeriram que, considerando a viabilidade celular de DPSCs humanas e a expressão molecular dos marcadores de angiogênese e osteogênese, o MTA, o BD e o Emdogain são comparáveis e podem ter uma pontuação melhor que o Ca(OH)₂, como material de cobertura.

Akinci et al. (2020) avaliaram as propriedades físicas de cimentos à base de silicato de cálcio (ProRoot MTA, MTA-A, BD) como preenchimento retrógrado em diferentes condições de pH e sangue usando micro tomografia computadorizada e observaram que o ambiente ácido teve um efeito negativo em todos os materiais. Todos os materiais tiveram alta perda de volume nesse ambiente ácido, mas o BD destacou-se por ter apresentado uma perda de volume relativamente maior.

Os resultados deste estudo podem ajudar os Médicos Dentistas a obter resultados mais fiáveis nos diversos procedimentos clínicos como obturações canalares. A maioria das interações entre as condições ambientais e a dentina parece ter um impacto negativo na tenacidade dos materiais de preenchimento retrógrados.

Petta et al. (2020) avaliaram a diferenciação osteogénica de células-tronco da polpa dentária humana em resposta a substâncias libertadas pelos agentes de captação da polpa, BD, MTA e cimento de hidróxido de cálcio em duas pastas (CHC), juntamente com suas características físico-químicas.

O teste de estabilidade dimensional mostrou que, dos materiais estudados, apenas o BD atendeu aos padrões recomendados pela Organização Internacional de Normalização (ISO) para materiais de proteção pulpar e, portanto, pode ser usado com segurança. Nos testes químicos, o BD foi o material mais estável. Formou a maior quantidade de nódulos mineralizados no meio mineralizante e não mineralizante. O BD liberta substâncias que podem induzir significativamente a formação da matriz extracelular mineralizada de células-tronco da polpa dentária humana, com características físico-químicas mais favoráveis à reparação da polpa do que as do MTA e CHC. Mais estudos clínicos são necessários para confirmar os seus efeitos na polpa dentária humana para considerar este material como um substituto para os materiais atuais.

O tempo de trabalho do Biodentine e do MTA é dado na Tabela 3. A presença do acelerador de presa em Biodentine resulta numa presa mais rápida, melhorando assim as suas propriedades de manipulação e resistência. Esta é uma vantagem em relação ao MTA, uma vez que o atraso no tempo de presa estudado por Torabinejad et al. (1993), leva a um risco aumentado de perda parcial de material e alteração da interface durante a fase de finalização do procedimento. Assim sendo, o Biodentine apresenta uma grande melhoria em relação ao MTA em termos de tempo de presa.

Material	Tempo inicial (minutos)	Tempo final (minutos)	Características de porosidade (densidade – g/cm ³)
MTA (ProRoot)	70	175	1.882 (0.002)
Biodentine	6	10.1	2.260(0.002)

Tabela 3 - Tempo de presa e características de porosidade do MTA e Biodentine (Adaptado de Kaur et al., 2017).

III. CONCLUSÃO

Baseado na revisão realizada, é possível concluir que não existem grandes diferenças entre MTA e BD no selamento, tanto no apical e obturação quanto na reparação de perfurações de furca.

A medida a ser adotada é a avaliação da facilidade de manipulação e o tempo de trabalho dos cimentos, pois uma vez comparados esses fatores, a decisão para a utilização torna-se mais clara.

Neste estudo pode-se destacar que BD induz efeitos favoráveis no processo reparador durante a terapia pulpar, podendo ser considerado como alternativa ao MTA.

Manipulação relativamente mais fácil, baixo custo e configuração mais rápida são as principais vantagens do BD quando comparado ao MTA.

Estudos também comprovaram que sua resistência à compressão e à flexão são superiores ao MTA, bem como a alta biocompatibilidade e excelente bioatividade.

Em razão da falta de estudos observacionais de longo prazo, é difícil afirmar se BD é ou não superior ao MTA, porém a manobrabilidade e os fatores econômicos caem em seu favor.

Entretanto, destaca-se que mais estudos são necessários para dar uma avaliação correta, já que alguns autores apresentaram resultados positivos a um produto, enquanto outros não.

IV. BIBLIOGRAFIA

Accorinte, M. de L. R., Holland, R., Reis, A., Bortoluzzi, M. C., Murata, S. S., Dezan, E., Souza, V., & Alessandro, L. D. (2008). Evaluation of Mineral Trioxide Aggregate and Calcium Hydroxide Cement as Pulp-capping Agents in Human Teeth. *Journal of Endodontics*, 34(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.09.012>

Adigüzel, M., Ahmetoğlu, F., Ünverdi Eldeniz, A., Tekin, M. G., & Gögebakan, B. (2019). Comparison of Cytotoxic Effects of Calcium Silicate-based Materials on Human Pulp Fibroblasts. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 13(4), 241–246. <https://doi.org/10.15171/joddd.2019.037>

Akbulut, M. B., Arpacı, P. U., & Eldeniz, A. U. (2018). Effects of four novel root-end filling materials on the viability of periodontal ligament fibroblasts. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 43(3), 1–12. <https://doi.org/10.5395/rde.2018.43.e24>

Akinci, L., Simsek, N., & Aydinbelge, H. A. (2020). Physical properties of mta, bioaggregate and biodentine in simulated conditions: A micro-ct analysis. *Dental Materials Journal*, 39(4), 601–607. <https://doi.org/10.4012/dmj.2018-429>

Almeida, L. H. S., Moraes, R. R., Morgental, R. D., & Pappen, F. G. (2017). Are Premixed Calcium Silicate-based Endodontic Sealers Comparable to Conventional Materials? A Systematic Review of In Vitro Studies. *Journal of Endodontics*, 43(4), 527–535. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.11.019>

Arens, D. E., & Torabinejad, M. (1996). Repair of furcal perforations with mineral trioxide aggregate Two case reports. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 82(1), 84–88. [https://doi.org/10.1016/S1079-2104\(96\)80382-9](https://doi.org/10.1016/S1079-2104(96)80382-9)

Asgary, S., Shahabi, S., Jafarzadeh, T., Amini, S., & Kheirieh, S. (2008). The Properties of a New Endodontic Material. *Journal of Endodontics*, 34(8), 990–993. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.05.006>

Attik, G. N., Villat, C., Hallay, F., Pradelle-Plasse, N., Bonnet, H., Moreau, K., Colon, P., & Grosogeat, B. (2014). In vitro biocompatibility of a dentine substitute cement on

human MG63 osteoblasts cells: Biodentine™ versus MTA®. *International Endodontic Journal*, 47(12), 1133–1141. <https://doi.org/10.1111/iej.12261>

Ayatollahi, F., Hazeri Baqdad Abad, M., Razavi, S. H., Tabrizizadeh, M., Ayatollahi, R., & Zarebidoki, F. (2017). Evaluating the accuracy of two microleakage assessment methods for mineral trioxide aggregate and calcium-enriched mixture cement. *Iranian Endodontic Journal*, 12(4), 497–501. <https://doi.org/10.22037/iej.v12i4.17796>

Bakhtiar, H., Nekoofar, M. H., Aminishakib, P., Abedi, F., Naghi Moosavi, F., Esnaashari, E., Azizi, A., Esmailian, S., Ellini, M. R., Mesgarzadeh, V., Sezavar, M., & About, I. (2017). Human Pulp Responses to Partial Pulpotomy Treatment with TheraCal as Compared with Biodentine and ProRoot MTA: A Clinical Trial. *Journal of Endodontics*, 43(11), 1786–1791. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.06.025>

Bernabé, P. F. E., Gomes-Filho, J. E., Rocha, W. C., Nery, M. J., Otoboni-Filho, J. A., & Dezan-Júnior, E. (2007). Histological evaluation of MTA as a root-end filling material. *International Endodontic Journal*, 40(10), 758–765. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01282.x>

Bernardes, R. A., de Amorim Campelo, A., Junior, D. S. S., Pereira, L. O., Duarte, M. A. H., Moraes, I. G., & Bramante, C. M. (2010). Evaluation of the flow rate of 3 endodontic sealers: Sealer 26, AH Plus, and MTA Obtura. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, 109(1), 47–49. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.08.038>

Bodrumlu, E. (2008). Biocompatibility of retrograde root filling materials: A review. *Australian Endodontic Journal*, 34(1), 30–35. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4477.2007.00085.x>

Bolhari, B., Ashofteh Yazdi, K., Sharifi, F., & Pirmoazen, S. (2015). Comparative Scanning Electron Microscopic Study of the Marginal Adaptation of Four Root-End Filling Materials in Presence and Absence of Blood. *Journal of Dentistry*, 12(3), 226–234. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26622276>

Bortoluzzi, E. A., Niu, L. N., Palani, C. D., El-Awady, A. R., Hammond, B. D., Pei, D. D., Tian, F. C., Cutler, C. W., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2015). Cytotoxicity and

osteogenic potential of silicate calcium cements as potential protective materials for pulpal revascularization. *Dental Materials*, 31(12), 1510–1522. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.09.020>

Camargo, S. E. A., Camargo, C. H. R., Hiller, K. A., Rode, S. M., Schweikl, H., & Schmalz, G. (2009). Cytotoxicity and genotoxicity of pulp capping materials in two cell lines. *International Endodontic Journal*, 42(3), 227–237. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01506.x>

Camilleri, J., Sorrentino, F., & Damidot, D. (2013). Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA Angelus. *Dental Materials*, 29(5), 580–593. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.03.007>

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>

Chailertvanitkul, P., Paphangkorakit, J., Sooksantisakoonchai, N., Pumas, N., Pairojamornyoot, W., Leela-apiradee, N., & Abbott, P. V. (2014). Randomized control trial comparing calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate for partial pulpotomies in cariously exposed pulps of permanent molars. *International Endodontic Journal*, 47(9), 835–842. <https://doi.org/10.1111/iej.12225>

Cooper, P. R., Takahashi, Y., Graham, L. W., Simon, S., Imazato, S., & Smith, A. J. (2010). Inflammation-regeneration interplay in the dentine-pulp complex. In *Journal of Dentistry*, 38(9), 687–697. *J Dent.* <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.05.016>

Cornélio, A. L. G., Salles, L. P., Campos Da Paz, M., Cirelli, J. A., Guerreiro-Tanomaru, J. M., & Tanomaru Filho, M. (2011). Cytotoxicity of Portland cement with different radiopacifying agents: A cell death study. *Journal of Endodontics*, 37(2), 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.11.017>

Costa, F., Gomes, P. S., & Fernandes, M. H. (2016). Osteogenic and Angiogenic Response to Calcium Silicate-based Endodontic Sealers. *Journal of Endodontics*, 42(1), 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.09.020>

Damas, B. A., Wheeler, M. A., Bringas, J. S., & Hoen, M. M. (2011). Cytotoxicity comparison of mineral trioxide aggregates and endosequence bioceramic root repair materials. *Journal of Endodontics*, 37(3), 372–375. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.11.027>

Dantas, R. V. F., Conde, M. C. M., Sarmiento, H. R., Zanchi, C. H., Tarquinio, S. B. C., Ogluari, F. A., & Demarco, F. F. (2012). Novel Experimental Cements for Use on the Dentin-Pulp Complex. *Braz Dent J.*, 23(4), 344–350. <https://www.scielo.br/pdf/bdj/v23n4/a06v23n4.pdf>

Desai, S., & Chandler, N. (2009). Calcium Hydroxide-Based Root Canal Sealers: A Review. In *Journal of Endodontics*, 35(4), 475–480. *J Endod.* <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.11.026>

El Karim, I. A., McCrudden, M. T. C., McGahon, M. K., Curtis, T. M., Jeanneau, C., Giraud, T., Irwin, C. R., Linden, G. J., Lundy, F. T., & About, I. (2016). Biodentine reduces tumor necrosis factor alpha-induced TRPA1 expression in odontoblastlike cells. *Journal of Endodontics*, 42(4), 589–595. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.12.017>

Escobar-García, D. M., Aguirre-López, E., Méndez-González, V., & Pozos-Guillén, A. (2016). Cytotoxicity and Initial Biocompatibility of Endodontic Biomaterials (MTA and Biodentine™) Used as Root-End Filling Materials. *BioMed Research International*, 2016(1), 1–6. <https://doi.org/10.1155/2016/7926961>

Ford, T. R. P., Torabinejad, M., Abedi, H. R., Bakland, L. K., & Kariyawasam, S. P. (1996). Using mineral trioxide aggregate: As a pulp-capping material. *Journal of the American Dental Association*, 127(10), 1491–1494. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1996.0058>

Gandolfi, M. G., Iezzi, G., Piattelli, A., Prati, C., & Scarano, A. (2017). Osteoinductive potential and bone-bonding ability of ProRoot MTA, MTA Plus and Biodentine in rabbit intramedullary model: Microchemical characterization and histological analysis. *Dental Materials*, 33(5), 221–238. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.01.017>

Gandolfi, M. G., Taddei, P., Tinti, A., & Prati, C. (2010). Apatite-forming ability (bioactivity) of ProRoot MTA. *International Endodontic Journal*, 43(10), 917–929.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01768.x>

Garcia, L. da F. R., Santos, A. D. dos, Moraes, J. C. S., & Costa, C. A. de S. (2016). Endodontic Therapy Cytotoxic effects of new MTA-based cement formulations on fibroblast-like MDPL-20 cells. *Braz Oral Res*, *30*, 1–7. <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2016.vol30.0028>

Grossman, L. (1982). *Obturation of root canal*. Philadelphia: Lea and Febiger.

Guneser, M. B., Akbulut, M. B., & Eldeniz, A. U. (2013). Effect of various endodontic irrigants on the push-out bond strength of biodentine and conventional root perforation repair materials. *Journal of Endodontics*, *39*(3), 380–384. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.11.033>

Güven, E. P., Taşlı, P. N., Yalvac, M. E., Sofiev, N., Kayahan, M. B., & Sahin, F. (2013). In vitro comparison of induction capacity and biomineralization ability of mineral trioxide aggregate and a bioceramic root canal sealer. *International Endodontic Journal*, *46*(12), 1173–1182. <https://doi.org/10.1111/iej.12115>

Kaur, M., Singh, H., Dhillon, J. S., Batra, M., & Saini, M. (2017). MTA versus biodentine: Review of literature with a comparative analysis. In *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, *11*(8), 1–5. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/25840.10374>

Kim, J., Song, Y.-S., Min, K.-S., Kim, S.-H., Koh, J.-T., Lee, B.-N., Chang, H.-S., Hwang, I.-N., Oh, W.-M., & Hwang, Y.-C. (2016). Evaluation of reparative dentin formation of ProRoot MTA, Biodentine and BioAggregate using micro-CT and immunohistochemistry. *Restorative Dentistry & Endodontics*, *41*(1), 29. <https://doi.org/10.5395/rde.2016.41.1.29>

Koch, K., & Brave, D. (2009). Bioceramic technology-the game changer in endodontics. In *Endodontic Practice*. www.realworldendo.com.

Kokate, S. R., & Pawar, A. M. (2010). An in vitro comparative stereomicroscopic evaluation of marginal seal between MTA , glass inomer cement & biodentine as root end filling materials using 1 % methylene blue as tracer . *Endodontology*, *23*(7), 36–42.

Kuratate, M., Yoshiba, K., Shigetani, Y., Yoshiba, N., Ohshima, H., & Okiji, T. (2008). Immunohistochemical Analysis of Nestin, Osteopontin, and Proliferating Cells in the Reparative Process of Exposed Dental Pulp Capped with Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics*, 34(8), 970–974. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.03.021>

Laurent, P., Camps, J., & About, I. (2012). Biodentine TM induces TGF- β 1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization. *International Endodontic Journal*, 45(5), 439–448. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01995.x>

Leonardo, M. R. (2005). *Endodontia Tratamento de canais radiculares princípios técnicos e biológicos*. São Paulo: Artes Médicas.

Linu, S., Lekshmi, M. S., Varunkumar, V. S., & Sam Joseph, V. G. (2017). Treatment Outcome Following Direct Pulp Capping Using Bioceramic Materials in Mature Permanent Teeth with Carious Exposure: A Pilot Retrospective Study. *Journal of Endodontics*, 43(10), 1635–1639. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.06.017>

Liu, S., Wang, S., & Dong, Y. (2015). Evaluation of a Bioceramic as a Pulp Capping Agent in Vitro and in Vivo. *Journal of Endodontics*, 41(5), 652–657. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.12.009>

Loushine, B. A., Bryan, T. E., Looney, S. W., Gillen, B. M., Loushine, R. J., Weller, R. N., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2011). Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. *Journal of Endodontics*, 37(5), 673–677. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.01.003>

Luo, Z., Li, D., Kohli, M. R., Yu, Q., Kim, S., & He, W. X. (2014). Effect of Biodentine™ on the proliferation, migration and adhesion of human dental pulp stem cells. *Journal of Dentistry*, 42(4), 490–497. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.12.011>

Lv, F., Zhu, L., Zhang, J., Yu, J., Cheng, X., & Peng, B. (2017). Evaluation of the in vitro biocompatibility of a new fast-setting ready-to-use root filling and repair material. *International Endodontic Journal*, 50(6), 540–548. <https://doi.org/10.1111/iej.12661>

Malkondu, Ö., Kazandağ, M. K., & Kazazoğlu, E. (2014). A review on biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material. *BioMed Research International*,

2014, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2014/160951>

Marcato, R. A., Martins, L. P., Prescinotti, R., Cordeiro, R., & Martins, T. H. (2020, Setembro). Agregado Trióxido Mineral (MTA): composição, características e relato de caso clínico. *III Congresso Odontológico de Araraquara*. <https://www.revodontolunesp.com.br/article/588019417f8c9d0a098b5070/pdf/rou-41-Especial+2-588019417f8c9d0a098b5070.pdf>

Margunato, S., Taşli, P. N., Aydin, S., Karapinar Kazandağ, M., & Şahin, F. (2015). 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*, *41*(10), 1646–1652. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.05.012>

Marques, K. T., Ruon, V., Volpato, L., Marengo, G., Haragushiku, G. A., Baratto-Filho, F., & Leonardi, D. P. (2011). Selamento apical proporcionado por diferentes cimentos endodônticos. *Stomatos*, *17*(32), 24–32.

Marquezan, F. K., Kopper, P. M. P., Dullius, A. I. dos S., Ardenghi, D. M., & Grazziotin-Soares, R. (2018). Effect of blood contamination on the push-out bond strength of calcium silicate cements. *Brazilian Dental Journal*, *29*(2), 189–194. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201801766>

Muliyar, S., Shameem, K. A., Thankachan, R. P., Francis, P. G., Jayapalan, C. S., & Hafiz, K. A. A. (2014). Microleakage in endodontics. *Journal of International Oral Health : JIOH*, *6*(6), 99–104. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25628496>

Nabeel, M., Tawfik, H. M., Abu-Seida, A. M. A., & Elgendy, A. A. (2019). Sealing ability of Biodentine versus ProRoot mineral trioxide aggregate as root-end filling materials. *Saudi Dental Journal*, *31*(1), 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2018.08.001>

Nowicka, A., Lipski, M., Parafiniuk, M., Sporniak-Tutak, K., Lichota, D., Kosierkiewicz, A., Kaczmarek, W., & Buczkowska-Radlińska, J. (2013). Response of human dental pulp capped with biodentine and mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics*, *39*(6), 743–747. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.01.005>

Obeid, M., Saber, S. E. D. M., Ismael, A. E. D., & Hassanien, E. (2013). Mesenchymal

stem cells promote hard-tissue repair after direct pulp capping. *Journal of Endodontics*, 39(5), 626–631. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.12.012>

Oliveira, A. C. M., & Duque, C. (2013). Atividade antimicrobiana de cimentos endodônticos. *Rev. Odontol. Univ. Cid. São Paulo*, 25(1), 58–67.

Oliveira, M. A. V. C. de, Soares, J., Azevedo, K. C. M., Biffi, J. C. G., Quirino, L. C., & Faria, R. A. (2011). Apical surgery in complement to the endodontic treatment: Case report. *Dental Press Endodontics*, 1(2), 70–74.

Ozbay, G., Kitiki, B., Peker, S., & Kargul, B. (2014). Apical Sealing Ability of a Novel Material: Analysis by Fluid Filtration Technique. *Acta Stomatologica Croatica*, 48(2), 132–139. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27688357>

Pawar, A., Kokate, S., & Shah, R. (2013). Management of a large periapical lesion using Biodentine™ as retrograde restoration with eighteen months evident follow up. *Journal of Conservative Dentistry*, 16(6), 573–575. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.120934>

Petta, T. de M., Pedroni, A. C. F., Saavedra, D. F., Faial, K. D. C. F., Marques, M. M., & D’Almeida Couto, R. S. (2020). The effect of three different pulp capping cements on mineralization of dental pulp stem cells. *Dental Materials Journal*, 39(2), 222–228. <https://doi.org/10.4012/dmj.2018-349>

Porter, M. L., Bertó, A., Primus, C. M., & Watanabe, I. (2010). Physical and Chemical Properties of New-generation Endodontic Materials. *Journal of Endodontics*, 36(3), 524–528. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.11.012>

Post, L. K., Lima, F. G., Xavier, C. B., Demarco, F. F., & Gerhardt-Oliveira, M. (2010). Sealing ability of MTA and amalgam in different root-end preparations and resection bevel angles: An in vitro evaluation using marginal dye leakage. *Brazilian Dental Journal*, 21(5), 416–419. <https://doi.org/10.1590/S0103-64402010000500007>

Samuel, A., Asokan, S., Priya, P. R. G., & Thomas, S. (2016). Evaluation of sealing ability of Biodentine™ and mineral trioxide aggregate in primary molars using scanning electron microscope: A randomized controlled in vitro trial. *Contemporary Clinical Dentistry*, 7(3), 322–325. <https://doi.org/10.4103/0976-237X.188547>

- Shahi, S., Bashirzadeh, A., Yavari, H. R., Jafari, F., Salem Milani, A., Ghasemi, N., & Samiei, M. (2017). Effect of different mixing methods on the bacterial microleakage of white Portland cement and white Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 11(2), 84–89. <https://doi.org/10.15171/joddd.2017.016>
- Shayegan, A., Petein, M., & Abbee, A. Vanden. (2009). The use of beta-tricalcium phosphate, white MTA, white Portland cement and calcium hydroxide for direct pulp capping of primary pig teeth. *Dental Traumatology*, 25(4), 413–419. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2009.00799.x>
- Soundappan, S., Sundaramurthy, J. L., Raghu, S., & Natanasabapathy, V. (2014). Biodentine versus Mineral Trioxide Aggregate versus Intermediate Restorative Material for Retrograde Root End Filling: An Invitro Study. *Journal of Dentistry*, 11(2), 143–149. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24910689>
- Stringhini Junior, E., dos Santos, M. G. C., Oliveira, L. B., & Mercadé, M. (2019). MTA and biodentine for primary teeth pulpotomy: a systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Clinical Oral Investigations*, 23(4), 1967–1976. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2616-6>
- Taha, N. A., Ahmad, M. B., & Ghanim, A. (2017). Assessment of Mineral Trioxide Aggregate pulpotomy in mature permanent teeth with carious exposures. *International Endodontic Journal*, 50(2), 117–125. <https://doi.org/10.1111/iej.12605>
- Tang, J. J., Shen, Z. S., Qin, W., & Lin, Z. (2019). A comparison of the sealing abilities between biodentine and mta as root-end filling materials and their effects on bone healing in dogs after periradicular surgery. *Journal of Applied Oral Science*, 27, 1–8. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2018-0693>
- Teixeira, J. F. R. N. (2014). *Revisão sobre os cimentos de obturação utilizados em Endodontia* (Tese de Mestrado, Universidade Fernando Pessoa). https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/4458/1/PPG_21548.pdf
- Tessare Jr., P. O., Fonsecs, M. B., Machado, M. L. B. B. de L., & Fava, A. S. (2005). Propriedades Características e Aplicações do Agregado Trióxido Mineral-MTA. Uma

Nova Perspectiva em Endodontia. Revisão da Literatura. *Electronic Journal of Endodontics*, 1(4), 1–14.

Tomás-Catalá, C. J., Collado-González, M., García-Bernal, D., Oñate-Sánchez, R. E., Forner, L., Llana, C., Lozano, A., Moraleda, J. M., & Rodríguez-Lozano, F. J. (2018). Biocompatibility of New Pulp-capping Materials NeoMTA Plus, MTA Repair HP, and Biodentine on Human Dental Pulp Stem Cells. *Journal of Endodontics*, 44(1), 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.07.017>

Torabinejad, M., Watson, T. F., & Ford, T. R. P. (1993). Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *Journal of Endodontics*, 19(12), 591–595. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80271-2](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80271-2)

Torabinejad, Mahmoud, Hong, C. U., McDonald, F., & Pitt Ford, T. R. (1995). Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *Journal of Endodontics*, 21(7), 349–353. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80967-2](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80967-2)

Torabinejad, Mahmoud, & Parirokh, M. (2010). Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review-Part II: Leakage and Biocompatibility Investigations. *Journal of Endodontics*, 36(2), 190–202. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.010>

Vajrabhaya, L. ongthong, Korsuwannawong, S., Jantarat, J., & Korre, S. (2006). Biocompatibility of furcal perforation repair material using cell culture technique: Ketac Molar versus ProRoot MTA. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, 102(6), 48–50. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2006.05.015>

Valentim, R. de M., Silva, L. M. da M., Silva, C. C. da, Carvalho, N. K., Vieira, V. T. L., & Silva, E. J. N. L. da. (2016). Revisão de literatura das propriedades físico-químicas e biológicas de um cimento à base de silicato de cálcio. *Rev. Bras. Odontol.*, 73(3), 237–241. http://revodonto.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-72722016000300011

Vallés, M., Roig, M., Duran-Sindreu, F., Martínez, S., & Mercadé, M. (2015). Color Stability of Teeth Restored with Biodentine: A 6-month in Vitro Study. *Journal of Endodontics*, 41(7), 1157–1160. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.03.014>

Villat, C., Grosgeat, B., Seux, D., & Farge, P. (2013). Conservative approach of a symptomatic carious immature permanent tooth using a tricalcium silicate cement (Biodentine): a case report. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 38(4), 258–262. <https://doi.org/10.5395/rde.2013.38.4.258>

Youssef, A. R., Emara, R., Taher, M. M., Al-Allaf, F. A., Almalki, M., Almasri, M. A., & Siddiqui, S. S. (2019). Effects of mineral trioxide aggregate, calcium hydroxide, biodentine and Emdogain on osteogenesis, Odontogenesis, angiogenesis and cell viability of dental pulp stem cells. *BMC Oral Health*, 19(133), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0827-0>