

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNA BOM DESPACHO

BARBARA GARCIA DE MORAIS

DENISE IRLAINE DOS SANTOS

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO HIDRÓXIDO DE
CÁLCIO, MTA CONVENCIONAL, MTA REPAIR E BIODENTINE APLICADOS
EM TERAPIAS DE POLPA VITAL: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

BOM DESPACHO-MG

2023

BARBARA GARCIA DE MORAIS

DENISE IRLAINE DOS SANTOS

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO HIDRÓXIDO DE CÁLCIO,
MTA CONVENCIONAL, MTA REPAIR E BIODENTINE APLICADOS EM TERAPIAS
DE POLPA VITAL: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
em Odontologia da Universidade Una Bom
Despacho, como requisito para obtenção do
título de Bacharel.

Orientador: Prof. Emílio Henrique Rocha Gonçalves Ferreira. Mestre, Doutor e Orientador em
Endodontia.

BOM DESPACHO-MG
2023

BARBARA GARCIA DE MORAIS

DENISE IRLAINE DOS SANTOS

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO HIDRÓXIDO DE CÁLCIO,
MTA CONVENCIONAL, MTA REPAIR E BIODENTINE APLICADOS EM TERAPIAS
DE POLPA VITAL: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de bacharel em Odontologia, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Odontologia da Faculdade UNA, Bom Despacho, Minas Gerais.

_____, _____ de _____ 20____.

Prof. Dr. Emílio Ferreira. Mestre e Doutor em Endodontia.

Centro Universitário UNA- Bom Despacho

Dr. Rafael Fernandes Ribeiro.

Centro Universitário UNA- Bom Despacho

Dr. Sávio Morato de Lacerda Gontijo.

Centro Universitário UNA- Bom Despacho

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares
e sobretudo a Deus.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que corroboraram em nossa caminhada desde o início do curso, e nos permitiram chegar até a conclusão deste trabalho, oferecendo tempo, dedicação e apoio incondicional. Em especial, ao nosso orientador Dr. Emilio Ferreira. À toda equipe da instituição de ensino Una Bom Despacho e comunidade, por colaborarem, tanto em nossa formação acadêmica quanto pessoal. Aos mestres e colegas, enaltecemos pelos ensinamentos e parcimônia, fazendo da faculdade uma travessia mais leve e prazerosa.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. MÉTODOS.....	11
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
4. DISCUSSÃO	19
4.1 ASPECTOS GERAIS DA POLPA VITAL E SUAS RESPOSTAS INFLAMATÓRIAS.	19
4.1.1 Diagnóstico e manejo.....	19
4.1.2 Fatores que influenciam no sucesso clínico da TPV.....	20
4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS MATERIAIS	20
4.2.1 Hidróxido de cálcio.....	20
4.2.2 Agregado trióxido mineral (MTA) e suas novas formulações.....	21
4.2.3 Biodentine.....	22
4.2.4 Mecanismo de Ação dos Materiais.....	22
4.2.5 Biocompatibilidade e Bioestimulação	23
4.2.6 Citotoxicidade.....	23
4.2.7 Porosidade e Solubilidade	24
4.2.8 Tempo de presa.....	25
4.2.9 Microdureza	25
4.2.10 Radiopacidade.....	26
4.2.11 Atividade Antibacteriana.....	26
5. CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS	29

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO HIDRÓXIDO DE CÁLCIO, MTA CONVENCIONAL, MTA REPAIR E BIODENTINE APLICADOS EM TERAPIAS DE POLPA VITAL: UMA REVISÃO DE LITERATURA

ANALYSIS OF THE PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF CALCIUM HYDROXIDE, CONVENTIONAL MTA, REPAIR MTA AND BIODENTINE APPLIED IN VITAL PULP THERAPIES: A LITERATURE REVIEW

Barbara Garcia De Morais¹

Denise Irlaine Dos Santos²

Resumo: O presente trabalho busca responder e comparar o uso dos biomateriais forradores, como Hidróxido de cálcio o MTA (Agregado Trióxido Mineral), e Biodentine, desenvolvidos para tratamentos conservadores e menos invasivos, que visam o restabelecimento das funções vitais da polpa, em dentes que sofreram complicações iatrogênicas, como perfurações durante preparos cavitários, ou por patologias intraorais; como as lesões de cáries profundas. A presente pesquisa foi realizada a partir de estudos relevantes envolvendo Hidróxido de Cálcio, MTA e Biodentine em tratamentos de terapia pulpar vital (VTP), em um período de 2013 a 2023, publicados nas bases SciELO (Scientific Eletronic Library Online), da National Library of Medicine (NIH) do PubMed, e da Journal of Conservative Dentistry. e dos conceitos extraídos da obra de TORRES, Carlos Rocha. Foi descrito que estes compósitos foram desenvolvidos com alta biocompatibilidade, e possuem propriedades físico-químicas de selamento, bioestimulação ideais para a aplicabilidade clínica. Para tanto, foi realizado uma análise minuciosa destes materiais como medicações e suas principais características, indicações e contraindicações em situações clínicas de perfurações da polpa nas terapias endodônticas. Ademais, para compreender os resultados clínicos das terapias pulpares e o uso de cada material, foi necessário um enfoque extenso de pesquisa na literatura com o objetivo de analisar as propriedades físico-químicas e biológicas do Hidróxido de cálcio, Agregado Trióxido Mineral (MTA) e Biodentine para a aplicabilidade clínica destes materiais. Com base na literatura pesquisada, pode-se concluir que o Hidróxido de cálcio apesar de ter sido o padrão ouro nas últimas décadas devido a sua biocompatibilidade, apresenta falhas clínicas significativas como infiltrações, alta porosidade e longo tempo de presa. Já o MTA apresentado em duas versões, branco e cinza, possui boa capacidade de bioestimulação, vedação, porém difícil manuseio e elevado tempo de presa, sua versão cinza causa manchas coronais. Assim sendo, o MTA Repair HP foi desenvolvido para suprir as características do MTA convencional, com alta biocompatibilidade, boa capacidade de selamento, não causa infiltrações nem machas nos dentes. O Biodentine possui todas as características físico-químicas do MTA, porém melhoradas e se difere pelo seu rápido poder de presa e melhor adaptação as paredes, porém possui baixa radiopacidade e não é encontrado facilmente no mercado brasileiro.

Palavras-chave: Hidróxido de cálcio. Agregado trióxido mineral. Biodentine. Terapia de polpa vital.

Abstract: The present work seeks to respond and compare the use of lining biomaterials, such as Calcium Hydroxide, MTA (Mineral Trioxide Aggregate), and Biodentine, developed for conservative and less invasive treatments, which aim to restore the vital functions of the pulp, in teeth that have suffered iatrogenic complications, such as perforations during cavity

preparation, or due to intraoral pathologies, such as deep caries lesions. This research was carried out based on relevant studies involving Calcium Hydroxide, MTA and Biodentine in vital pulp therapy (VTP) treatments, in a period from 2013 to 2023, published in the SciELO (Scientific Electronic Library Online) databases of the National Library of Medicine (NIH) from PubMed, and the Journal of Conservative Dentistry. and concepts extracted from the work of TORRES, Carlos Rocha. It was described that these composites were developed with high biocompatibility and have physicochemical sealing and biostimulation properties ideal for clinical applicability. To this end, a thorough analysis of these materials as medications and their main characteristics, indications and contraindications in clinical situations of pulp perforations in endodontic therapies was carried out. Furthermore, to understand the clinical results of pulp therapies and the use of each material, an extensive focus of research in the literature was necessary with the objective of analyzing the physicochemical and biological properties of Calcium Hydroxide, Mineral Trioxide Aggregate (MTA) and Biodentine for the clinical applicability of these materials. Based on the researched literature, it can be concluded that calcium hydroxide, despite having been the gold standard in recent decades due to its biocompatibility, presents significant clinical flaws such as infiltrations, high porosity and long setting time. MTA, presented in two versions, white and gray, has good biostimulation and sealing capacity, but is difficult to handle and takes a long time to set, its gray version causes coronal stains. Therefore, MTA Repair HP was developed to meet the characteristics of conventional MTA, with high biocompatibility, good sealing capacity, and does not cause infiltrations or stains on the teeth. Biodentine has all the physical-chemical characteristics of MTA, but improved and differs due to its quick setting power and better adaptation to walls, however it has low radiopacity and is not easily found on the Brazilian market.

Keywords: Calcium Hydroxide. Mineral Trioxide Aggregate. Biodentine. Vital pulp therapy.

1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de tornar técnicas de manejo clínico adequadas e menos invasivas envolvendo lesões cáries profundas e perfurações de polpas vitais em preparos cavitários, foi desenvolvido as técnicas da Terapia Pulpar Vital (TPV). Os métodos da TPV, consistem em estratégias como: capeamento pulpar direto, do qual se baseia na introdução direta de um material biocompatível em polpa exposta, que irá estimular a formação das pontes de dentina, mediadas pelos odontoblastos; no capeamento pulpar indireto, que visa a remoção de lesão cáries profunda e parcial de dentina afetada e inserção de um biomaterial compatível, que irá estimular a formação de dentina reparadora, este método visa preservar a polpa quase exposta; na pulpotomia superficial, em que apenas a porção superficial da polpa é removida, e que a contaminação não atingiu a porção mais profunda; e na pulpotomia cervical, em que a porção coronária (cervical) da polpa afetada é removida e inserido o material biocompatível que irá promover a restauração das funções vitais da polpa Miyashita et. al (2016).

Esta é uma intervenção mínima e conservadora, que tem como objetivo restaurar a hemostasia de dentes com polpas vitais que ainda possuem grande número de células odontoblasticas, que sintetizam e estimulam a formação de pontes de dentina nas áreas capeadas e afetadas Camoni et al. (2023). Fatores como idade, extensão das lesões, qualidade do biomaterial e grau de contaminação pulpar, determinam o sucesso clínico da TPV. Segundo Topçuoğlu et al. (2023), as chances de regeneração do complexo dentino-pulpar são maiores em dentes jovens, onde os tecidos ainda estão em fase de desenvolvimento e há maior atividade celular de reparo e formação de tecido dentinário.

Em suma, para que o sucesso clínico da TPV seja estabelecido, conforme mencionado, a qualidade do biomaterial é de extrema importância, pois ele irá atuar como barreira protetora e ajudar a restabelecer o mecanismo hemostático da polpa contra as contaminações vindas de complicações iatrogênicas e lesões cáries. Estes materiais devem apresentar características físico-químicas essenciais, como: ação bacteriostática, capacidade de selamento, solubilidade, hidrofiliabilidade, baixa toxicidade e bioestimulação de pontes de dentina, são requisitos básicos de um bom material capeador, Camoni et al. (2023). Assim sendo, são apresentados no mercado atual em forma de pó, líquido ou em pasta, seguindo a correta manipulação e orientações de cada fabricante.

Neste sentido, atualmente o desafio da odontologia restauradora atual é selecionar os melhores materiais disponíveis no mercado atual, para determinado tipo de tratamento odontológico. Para tanto, analisou-se as taxas de sucesso clínico comparativas utilizando o Hidróxido de cálcio, Agregado Trióxido Mineral (MTA) e Biodentine, quanto às suas capacidades de regeneração tecidual, características bioestimuladoras, capacidade de resposta ao tecido conjuntivo e selamento; tanto vantagens e desvantagens.

O Hidróxido de cálcio foi por muito tempo considerado padrão ouro nas terapias de TPV, introduzido pela primeira vez em 1920 por Hermann, possui características físico-químicas como: alta alcalinidade e grande potencial bactericida e estimuladora de tecido mineralizado. Entretanto, mais tarde foi comprovado algumas implicações decorrentes de suas propriedades, como alta solubilidade, porosidade inadequada, toxicidade e infiltrações Estrela et al. (2023).

Visando contornar esses problemas, foi desenvolvido pelo Prof. Mahmoud Torabinejad em 1990 na Universidade de Loma Linda, na Califórnia, o biomaterial Agregado Trióxido Mineral (MTA) Camoni et al (2023). O Pro Root MTA foi comercializado pela primeira vez em 1998, pela empresa Dentsply Tulsa Dental Specialties, no Tennessee Tawill (2015).

Possuindo propriedades estimuladoras de solubilidade e bioestimuladoras ideais para manejo clínico, este material é semelhante ao cimento Portland (silicato di e tricalcico), contudo, composto por silicato de cálcio e 20% de óxido de bismuto, do qual algumas formulações desenvolvidas atualmente não possuem potássio na composição, além de serem apresentados na coloração branco e cinza Estrela et al. (2023). Entretanto, este material apresentava grande dificuldade de manuseio e elevado poder de presa, além de descoloração, consistência arenosa, e algumas formulações apresentaram descoloração cervical dos dentes. Logo, com o objetivo de superar essas características físico-químicas indesejáveis, foi desenvolvido então o MTA Angelus, nas cores branco e cinza e Repair HP (Angelus, Londrina, Brasil). O MTA Repair HP foi reformulado com um novo radiopacificador e adicionado um agente plastificante em sua composição, que permitiu melhores resultados clínicos, como baixa solubilidade, rápido poder de presa, mantém um potencial hidrogeniônico (pH) alto por muito tempo e mantém seu potencial de ação por muito tempo em ambientes húmidos, além de promover selamento e reduzir as chances de infiltrações Camoni et al (2023).

Com o advento de novas pesquisas e testes clínicos, foi desenvolvido pela empresa francesa Septodont (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, França), e lançado comercialmente em 2009, o Biodentine. Este material é um cimento de mesma base do MTA em sua composição, porém composto de silicato tricálcico, silicato dicálcico, mas que se diferem entre si em suas características. O Biodentine possui elevado poder de presa, maior escoamento e possibilita a capacidade de se interligar no interior dos túbulos dentinários, causando maior adesão às paredes resistência mecânica, e menos potencial de descoloração dental Abuelniel et al. (2021).

Assim sendo, foi realizado uma revisão de literatura com o objetivo de analisar as propriedades físico-químicas destes materiais em TPV. Um estudo criterioso dos últimos trabalhos publicados foi realizado, em que foi possível comparar as propriedades como radiopacidade, toxicidade, bioestimulação, vedação e solubilidade, apresentando qual deles apresentaram melhores resultados clínicos em terapia pulpar vital.

2. MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada a partir de estudos relevantes envolvendo Hidróxido de Cálcio, MTA e Biodentine em tratamentos de terapia pulpar vital (VTP), em um período de 2013 a 2023, publicados nas bases SciELO (Scientific Eletronic Library Online), da National Library of Medicine (NIH) do PubMed, e da Journal of Conservative Dentistry. e dos conceitos extraídos da obra de TORRES, Carlos Rocha.

Para esta busca, foram usadas as palavras-chave: Terapia Pulpar Vital, Hidróxido de Cálcio, MTA e Biodentine, Capeamento Pulpar; materiais de proteção da polpa; Propriedades físico-químicas do MTA e Pulpotomia. Do qual foram escolhidas cerca de vinte e três publicações que abordaram casos clínicos e pesquisas acerca do tema, que apresentaram maior relevância clínica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Com o objetivo de avaliar as características físico-químicas, biocompatibilidade, aplicabilidade clínica das vantagens e desvantagens em se utilizar os materiais Hidróxido de cálcio, Agregado Trióxido Mineral (MTA) e Biodentine em tratamentos de polpa vital, foram selecionados alguns artigos que elucidam esses pontos.

Torres (2013), afirma que o Hidróxido de Cálcio está disponível comercialmente no mercado atual, seja na forma de pó ou pasta. Ambas as apresentações não tomam presa por si só, sendo necessário revesti-las primeiro com uma sobre base de cimento de hidróxido de cálcio e, posteriormente, com o biomaterial ionômero de vidro. Além disso, existem também os tipos autoativados. Em relação à sua solubilidade em ácidos, as pastas de hidróxido de cálcio autoativados podem causar contaminação local e aumentar a infiltração marginal, que pode causar amolecimento e, em alguns casos, no completo desaparecimento sob restaurações com selamento marginal deficiente, levando à formação de um espaço vazio na interface e reduzindo a capacidade de resistência, ocasionando em fraturas sob restaurações em amálgama volumosas. Para superar esse problema, foram desenvolvidos materiais fotoativados que dispensam a necessidade de espatulação, são resistentes aos ácidos e apresentam maior resistência à compressão. Isso se deve à presença de resina polimérica em sua composição, que permite melhor união a materiais restauradores resinosos.

Malkondu et al. (2014) forneceram através de um estudo, uma análise abrangente do Biodentine, na qual foram abordadas sua composição química e propriedades físico-químicas como um material para o TPV. O Biodentine é um composto à base de silicato de cálcio, semelhante ao MTA, e possui uma ampla variedade de aplicações. Em suas pesquisas, foram avaliadas e comparadas as propriedades em relatos de casos em que o material foi empregado. Em uma dessas situações, realizou-se uma pulpotomia parcial em um paciente de 12 anos, sendo acompanhado por 6 meses após o tratamento. Observou-se uma resposta tecidual rápida e a regeneração de pontes de dentina homogêneas e fortemente aderentes. Em outra análise, um estudo histológico em molares tratados com Biodentine em capeamento pulpar resultou em eficácia semelhante ao MTA, com a formação completa de pontes dentinárias e a ausência de respostas inflamatórias. Diante disso, os autores concluíram que, embora sejam necessários mais dados e pesquisas, o Biodentine tem se mostrado como um material promissor, caracterizado por alta biocompatibilidade e facilidade de manuseio devido ao seu curto tempo de presa.

Tawil et al. (2015) em uma análise clínica, discutiram a história, composição química e eficácia do uso do MTA tradicional em procedimentos endodônticos e terapias pulpares. O MTA tradicional consiste em cálcio, alumínio e selênio, sendo derivado do composto cimento Portland, mas distinto em suas formulações devido a processos de purificação, resultando em menor presença de metais pesados. Devido às suas vantagens, como biocompatibilidade, capacidade de vedação em ambientes úmidos (hidrofilicidade) e o surgimento de novas formulações que conferem rápida presa e facilitam o manuseio na prática clínica, os autores concluíram que tanto o MTA tradicional quanto suas versões mais recentes (MTA Ângelus e ProRootMTA) continuarão a desempenhar um papel central na odontologia por muitos anos.

Ceci et al. (2015) realizaram um estudo comparativo, onde foram examinadas propriedades como: solubilidade, inflamação, bioestimulação, citotoxicidade, pH e radiopacidade utilizando o MTA Angelus, ProRoot MTA e IRM. Esta pesquisa envolveu testes em camundongos, e ao término do período de incubação, foi conduzido um teste com azul de Alamar. Após 24 horas, foi observada uma diferença total no número de células vitais entre os

três materiais, exceto no caso do IRM, onde houve diferença relevante em células vitais. Após 48 horas, verificou-se um número menor de células vitais nos testes com MTA ProRoot e MTA Angelus, enquanto o Biodentine mostrou uma redução mínima nas células vitais. Na análise antibacteriana, utilizando células de *Streptococcus mutans*, *salivarius* e *sanguis*, notou-se pouca diferença nos resultados para *S. mutans* e Biodentine. ProRoot MTA, MTA Angelus e IRM mostraram pouca discrepância para *S. salivarius* (0,7 – 0,8 – 0,52), respectivamente, enquanto o Biodentine apresentou (1,07) para *S. sanguis*. No teste de solubilidade, não foram observadas diferenças entre os materiais em 24 horas, e após dois meses, os resultados foram semelhantes aos testes iniciais, exceto pelo IRM, que demonstrou aumento em sua solubilidade. Na análise de pH, foram incubados os materiais e analisados após 3 horas, com resultados variando de 10 a 12. Após 24 horas, a média foi de 11. Nas análises de densidades radiográficas, 30 corpos foram coletados de cada material, em modelos com espessura de 1 a 4mm de diâmetro interno. Como resultado, o ProRoot e o MTA Angelus mostraram maior grau de densidade, enquanto o Biodentine e IRM demonstraram valores menores. Concluindo, os autores afirmaram que todos os materiais atenderam aos requisitos da Norma Internacional 6876, demonstrando baixa solubilidade com perda de peso inferior a 3%, nenhuma redução significativa no valor do pH em 24 horas, e o ProRoot MTA e MTA Angelus apresentaram os maiores valores de densidade radiográfica, melhores propriedades antibacterianas (em relação ao Biodentine por não agir em *S. mutans*), biocompatibilidade e baixa solubilidade.

Gandolfi et al. (2015) em um estudo avaliativo, do qual analisaram as propriedades físico-química dos novos cimentos de silicato de cálcio, a fim de compará-los com os cimentos convencionais com formulações de Hidróxido de cálcio. As marcas (Calxyl, Dycal, Life, Lime-Lite) e à base de silicato de cálcio (ProRoot MTA, MTA Angelus, MTA Plus, Biodentine, Tech Biosealer, TheraCal). Características como: Potencial hidrogeniônico (ph) na liberação de íons, porosidade, sorção em água e reparação tecidual foram examinadas. Como resultado, todos os materiais a base de silicato de cálcio liberaram mais moléculas de cálcio enquanto o Lime-Lite menos. Ao avaliar a capacidade alcalinizante, todos apresentaram boas respostas alcalinizantes, exceto o Life e Lime-Lite. Os materiais a base de silicato de cálcio apresentaram melhores resultados quanto a porosidade enquanto somente o TheraCal menor. A maior solubilidade dos compósitos contendo água na sua composição foi maior juntos dos líquido-pó. Após um tempo, os materiais Lime-life e Dycal apresentaram pouco e razoável formação de camadas depositadas de fosfato de cálcio, respectivamente. O MTA plus apresentou camadas espessa e ProRootMTA apresentou grandes depósitos de fosfato de cálcio e o TheraCal apresentou esferulos densos e pequenos. Assim sendo, os autores concluíram que os novos cimentos a base de silicato de cálcio, são excelentes escolhas como materiais para TPV, pois apresentam melhores resultados.

Çalışkan et al. (2017) realizaram uma análise retrospectiva para avaliar os resultados de cicatrização após capeamento pulpar direto, empregando o Agregado Trióxido Mineral (MTA) e o Hidróxido de Cálcio como agentes forradores, O estudo envolveu 172 dentes permanentes maduros, assintomáticos e com polpa exposta devido à lesão cáriosa, que foram tratados e acompanhados radiograficamente por um período de 24 a 72 meses. Utilizou-se a análise de sobrevivência de Kaplan-Meier e o teste log-rank, comparando os subgrupos por meio deste último teste. A análise de regressão univariada de Cox foi empregada para determinar a taxa de risco das variáveis clínicas. Como resultado, os pesquisadores chegaram a conclusão de que os dentes submetidos aos capeamento com MTA demonstraram maior sucesso clínico em

comparação com o uso do Hidróxido de Cálcio. Isso sugere que o MTA é um excelente material para a terapia de capeamento pulpar.

Lipski et al. (2018) estudaram os fatores que impactam os resultados do capeamento pulpar direto ao empregar o novo cimento de silicato de cálcio, Biodentine. O estudo abrangeu 112 dentes vitais com exposição pulpar decorrente de lesão cariosa. Entre os 94 pacientes incluídos, 50 eram do sexo feminino e 44 do sexo masculino, variando em idade de 11 a 79 anos, com uma mediana de 44 anos. Uma hipótese foi levantada com base em testes que consideravam fatores como idade, sexo, posição dos dentes (anteriores e posteriores), localização da lesão cariosa e realização de restauração tardia ou imediata, investigando se esses fatores influenciariam os resultados do capeamento pulpar direto. No entanto, apenas a idade emergiu como um fator determinante para o sucesso clínico; a taxa de sucesso foi de 90,9% em pacientes com menos de 40 anos. Os autores concluíram que a maior taxa de sucesso em pacientes mais jovens se deve à notável capacidade de regeneração do tecido pulpar. No entanto, destacaram a necessidade de estudos clínicos adicionais para avaliar a influência da idade nos resultados do tratamento de capeamento pulpar utilizando Biodentine.

Parirokh et al. (2018) em um estudo aprofundado, foram examinadas as composições químicas e a aplicação do MTA, além de outros materiais, na terapia de polpas vitais. Tradicionalmente, o Hidróxido de Cálcio foi considerado o padrão no tratamento de pulpotomias, devido ao seu alto pH após a mistura com água, o que possibilita a formação de dentina. No entanto, os autores deste estudo defenderam o uso do MTA, um composto à base de silicato de tricálcico, que é mais biocompatível e bioativo, para o tratamento de polpa vital. Apesar disso, eles concluíram que o MTA apresenta desvantagens significativas, como manchas nos dentes, tempo de presa prolongado, dificuldade de manuseio e custo elevado. Essas limitações do MTA foram abordadas pelo novo cimento de silicato de cálcio, o Biodentine.

Guimarães et al. (2018) realizaram um estudo para avaliar as propriedades físico-químicas de materiais à base de silicato de cálcio, incluindo radiopacidade, tempo de presa final, alteração de pH, liberação de cálcio, solubilidade, sorção de água, morfologia superficial, porosidade e capacidade de formação de apatita. O MTA Repair HP e o MTA Vitalcem foram testados em comparação com o Pro Root MTA convencional. Para radiopacidade, o MTA HP apresentou (4,50mm AI) semelhante ao MTA convencional (5,81mm AI); o MTA Vitalcem apresentou (2,46mm AI) menor resultado. O tempo de presa final para o MTA HP foi (85 minutos), enquanto o MTA convencional (84,33 minutos); o MTA Vitalcem apresentou tempo mais longo (140 minutos). O MTA demonstrou solubilidade, menor porosidade e melhor sorção em água. O MTA Vitalcem resultou em altos valores de sorção em água e solubilidade. O MTA HP e MTA Vitalcem obtiveram resultados semelhantes em porosidade, contudo, o MTA HP obteve menor solubilidade e sorção de água se comparado com o MTA Vitalcem. Nos primeiros 7 dias todos os materiais produziram pH elevado, entretanto, após 4 dias o MTA convencional demonstrou pH mais alto, e após 28 dias todos os materiais apresentaram alta capacidade alcalinizante. No que diz respeito à liberação de cálcio, todos os materiais mostraram a diminuição com o tempo. O resultados em porcentagem para o MTA convencional e seus cristais precipitados formados superficialmente foram: Teor de cálcio (34,4%), silício (6,06%), alumínio (1,78%) nos primeiros dias e, após 28 dias, foi de (28,61%) de cálcio e (10,79%) para fósforo. Os precipitados na superfície do MTA Repair HP apresentaram formação de grânulos de tungstênio com (11,72%), cálcio (19,84%) e silício (2,68%) e após 28 dias, resultou em uma camada de precipitados globulares, do qual o silício desapareceu e elementos como o sódio,

magnésio e fósforo foram achados com resultados de (0,90%, 1,13% e 14,83%), respectivamente. O MTA Vitalcem obteve cálcio (13,16%, 6,78%, 1,42%, 6,19%, 1,16%) de silício, alumínio, zircônio e enxofre, respectivamente e após 28 dias a superfície precipitada com (10,38%, 0,22%, 0,17% e 1,11%) desses precipitados, respectivamente. Em conclusão, o MTA Vitalcem teve baixa radiopacidade, longo tempo de presa alta solubilidade em comparação com outras formulações de MTA. O MTA HP apresentou semelhanças com MTA convencional, exceto pela presença do agente plastificante que aumenta a solubilidade e porosidade. Os autores afirmaram que o MTA Repair HP e o MTA Vitalcem prolongaram a atividade alcalinizante e a liberação de cálcio, favorecendo a nucleação do fosfato de cálcio, contudo, o plastificante no MTA HP aumenta sua solubilidade e porosidade. O uso de radiopacificador tungstato de cálcio foi sugerido como alternativa ao óxido de bismuto.

Sarzedo et al. (2019) realizaram um estudo comparativo sobre as composições químicas e características físicas das novas formulações do Agregado Trióxido Mineral (MTA), desenvolvidas ao longo do tempo para solucionar problemas do MTA Convencional. O ProRoot MTA foi comercializado em 1999 pela Dentsply Tulsa Dental, EUA; em seguida, a empresa brasileira Angelus Indústria de Produtos Odontológicos S.A. lançou o MTA nacional (MTA Angelus) em 2001 (cinza) e em 2004 (branco), retirando o sulfato de cálcio do ProRoot MTA para acelerar o tempo de presa. Em 2016, o MTA Repair HP desenvolvido também pela empresa brasileira Angelus, foi lançado sob a forma de um material biocerâmico reparador de excelente plasticidade, com as mesmas propriedades biológicas que o MTA convencional, mas que oferece melhores opções de manuseio e inserção, que advém da mudança no tamanho das partículas do pó e à adição de um plastificante formando a solução. Para analisar a composição química dos cimentos MTA Angelus branco e cinza, e MTA HP Repair, foi utilizado a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com o Espectômetro de Energia Dispersiva (EDS Energy Dispersive System). Esta análise foi realizada no Instituto de Geociências da Unicamp e no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). No estudo, foi detectado a o elemento ferro (Fe) nos materiais MTA cinza e MTA HP Repair, enquanto foi eliminado do MTA branco, algumas pesquisas relataram que o elemento causava escurecimento da estrutura coronária e gengival, o que levou à sua retirada em 2004, no entanto, o problema persistia. Segundo alguns autores, trabalhos recentes sugerem que o escurecimento pode estar relacionado ao radiopacificador presente nas formulações dos MTA cinza e branco, que continham óxido de bismuto (Bi_2O_3). Em análise, o MTA HP Repair, obteve ausência de bismuto (Bi) com a substituição do radiopacificador na nova formulação, para o Tungstato de Cálcio (CaWO_4), do qual o escurecimento coronário e gengival não foi observado nos resultados clínicos.

Paula et al. (2019) investigaram os efeitos citotóxicos e bioativos de três materiais: Hidróxido de Cálcio (HC), Agregado de Trióxido Mineral (MTA) e Silicato de Cálcio (Biodentine), em células semelhantes a odontoblastos de camundongos. Observou-se que a citotoxicidade gerada pelo Biodentine e MTA foi de moderada a fraca, muito abaixo dos limites de 40 a 45% aceitos pela norma ISO (International Organization for Standardization). Apenas a menor concentração de Hidróxido de Cálcio apresentou citotoxicidade. Tais níveis de toxicidade são semelhantes aos observados nos testes *in vivo* no tecido pulpar, quando esses materiais são usados diretamente no capeamento pulpar. Isso acontece porque as camadas externas das células pulpares, em contato com o material protetor, agem protegendo o tecido mais interno. As diferenças entre o hidróxido de cálcio, agregados de trióxido mineral e cimentos de silicato tricálcico estão relacionadas às suas estruturas básicas e às diferentes

reações bioquímicas resultantes. Os agregados de trióxido mineral, por exemplo, promovem a formação de tecido duro mineralizado e mais espesso que os materiais à base de hidróxido de cálcio, acompanhada por uma menor inflamação nos tecidos ao redor. Tanto o MTA quanto o Biodentine aumentaram a atividade metabólica e os ciclos celulares. No entanto, os cimentos de silicato tricálcico apresentaram um desempenho superior nas fases de diferenciação e mineralização. Eles demonstraram um aumento significativo na expressão de fosfatase alcalina, sialoproteína dentinária e na formação de nódulos de cálcio em comparação com os cimentos de agregado de trióxido mineral. O trabalho sugere que o silicato tricálcico e agregados minerais à base de cimentos trióxidos podem ser escolhas eficazes para terapias pulpares com altas taxas de sucesso clínico.

Duncan et al. (2019) em uma declaração, se posicionaram através de um consenso entre especialistas sobre o tratamento de lesões cariosas profundas e exposição pulpar, enfatizando a preservação da saúde da polpa e sua vitalidade por meio de terapias minimamente invasivas e apropriadas. Os autores fundamentaram suas afirmações nas evidências clínicas atuais para cirurgias dentistas, com o objetivo de preservar a vitalidade do complexo dentino-pulpar.

Pedano et al. (2020) examinaram na literatura os efeitos citotóxicos e bioativos de agentes usados para proteger a polpa dentária humana. Isso incluiu avaliações da resposta inflamatória, formação de pontes dentinárias e capacidade reparadora de diferentes materiais de capeamento pulpar. Em experimentos *in vitro*, células da polpa dentária humana foram expostas a esses materiais, seguidos por estudos clínicos randomizados ou controlados. A revisão sistemática incluiu 26 estudos *in vitro* e 30 estudos *in vivo*. Os resultados dos estudos *in vitro* indicaram que os cimentos hidráulicos de silicato de cálcio, como MTA, sem resina, promoveram melhor viabilidade celular e bioatividade do que os baseados em resina, ionômeros de vidro e hidróxido de cálcio. Já a análise dos estudos *in vivo* indicou que na formulação do pó de hidróxido de cálcio estimulou mais a formação de pontes reparadoras do que o cimento comercial de silicato de cálcio sem resina, Pro-Root MTA (Dentsply-Sirona). Materiais sem resina também mostraram maior capacidade de formar pontes reparadoras completas do que os à base de resina. Por outro lado, não foi encontrada diferenças relevantes quanto ao efeito inflamatório provocado no tecido pulpar humano dos materiais que foram testados. Em resumo, o pó de hidróxido de cálcio (HC) e o Pro-Root MTA resultaram melhores biocompatibilidade nos testes, tanto *in vitro* e *in vivo*. Porém, os pesquisadores alertaram para a necessidade de cautela ao usar esses materiais em pacientes, pois pequenas mudanças na composição podem causar grandes impactos no desempenho clínico. Assim, concluíram que o hidróxido de cálcio em pó/soro fisiológico e Pro-Root MTA sem resina são as melhores opções para fornecer uma ponte reparadora completa na terapia pulpar vital.

Arandi et al. (2021) conduziram um estudo detalhado sobre o uso de Biodentine no capeamento pulpar. Os autores coletaram artigos relevantes para revisar o material concluindo que, como um novo composto bioativo de silicato tricálcico, ele não é comumente utilizado por cirurgias dentistas. Entretanto, a literatura ressalta que o Biodentine apresenta resultados mais expressivos do que o MTA e o Hidróxido de Cálcio em procedimentos de capeamento pulpar direto, tanto em dentes permanentes com ápices abertos quanto fechados. Além disso, os estudos afirmam que o Biodentine demonstra melhor biocompatibilidade, alcalinidade, capacidade de selamento e um tempo de presa menor, tornando sua manipulação mais fácil em comparação aos demais materiais.

Reis et al. (2021) compararam o uso de MTA e Biodentine na formação de barreiras mineralizadas e eventos inflamatórios/degenerativos na polpa. Neste estudo, os autores citam,

que para atingir o sucesso de uma terapia pulpar é importante o material ter biocompatibilidade e que possa promover diferenciação de células que produzem tecidos mineralizados, além da capacidade de formação de uma barreira calcificada que proteja a polpa contra microinfiltrações, assim favorecendo a regeneração durante o processo de cicatrização. Para isso, utilizaram 80 ratos Wistar machos, semelhantes aos dentes humanos em características anatômicas, fisiológicas, biológicas e histológicas. Os primeiros molares inferiores dos ratos foram expostos e capeados com MTA ou Biodentine, restaurados com amálgama de prata ou apenas selados com Biodentine em um grupo adicional. A resposta pulpar e capacidade de selamento foram analisadas após 14 ou 21 dias, estatisticamente avaliadas pelos testes post hoc de Kruskal-Wallis e Dunn ($p < 0,05$). Os resultados indicaram que tanto o Biodentine quanto o MTA reduziram significativamente a resposta inflamatória ($p < 0,0001$) e promoveram a formação de barreiras minerais mais pronunciadas ($p < 0,0001$) em comparação com os dentes capeados com guta-percha. No entanto, o Biodentine, usado como material restaurador, teve uma taxa de selamento coronal de apenas 37,5%. Os pesquisadores concluíram que o Biodentine é eficaz, similar ao MTA em terapias pulpares, mas não se mostrou eficiente na proteção da polpa dentária contra microinfiltrações durante o período de estudo.

Nie et al. (2021) investigaram a eficácia de materiais bioativos no capeamento pulpar direto para a regeneração da dentina. Foram conduzidos ensaios clínicos randomizados em 19 animais e 21 seres humanos para comparar os resultados histológicos, a fim de analisar a formação de pontes dentinárias completas, parciais e totais durante o processo de regeneração pulpar utilizando diferentes materiais de capeamento: Hidróxido de Cálcio, Agregado Trióxido Mineral (MTA) e Biodentine, com diferentes períodos de acompanhamento clínico. Os pesquisadores concluíram que, embora o hidróxido de cálcio tenha sido considerado padrão-ouro por muitos anos, apresenta falhas na formação de dentina, alta toxicidade e baixa capacidade adesão. Por outro lado, o MTA e o Biodentine demonstraram boas respostas na regeneração de pontes dentinárias homogêneas, adesão adequada e biocompatibilidade. Além disso, o Biodentine se diferencia do MTA por ter um tempo de presa menor e ser um material recente no mercado, mas que ainda está em fase de testes e desenvolvimento nas práticas clínicas.

Singh et al. (2022) avaliaram durante 24 meses pacientes pediátricos submetidos a pulpotomia com Biodentine em dentes permanentes vitais e sintomáticos, cujos ápices estavam fechados, por meio de resultados clínicos e radiográficos. No estudo, 73 crianças foram incluídas, sendo 47 selecionadas, com idades médias de $10,38 \pm 1,22$ e $10,40 \pm 1,15$ anos, respectivamente, incluindo 22 meninos e 23 meninas submetidos ao tratamento. Após o período de 3 meses, um paciente não compareceu ao acompanhamento, os demais (97,87%) relataram 100% de sucesso clínico. Aos 6 meses, um paciente foi perdido, mas a maioria (95,74%) não apresentou nenhum problema. Após 9 meses, um paciente sentiu sensibilidade à percussão. Ao completar 12 meses, dos 44 pacientes restantes, nenhum relatou dor ou falha clínica, atingindo uma eficácia clínica de 97,78%. Assim, os autores chegaram a conclusão de que a pulpotomia com Biodentine em pacientes jovens pode ser uma opção viável para preservar a vitalidade radicular. Destarte, estudos histológicos confirmam o mesmo, indicando que, dependendo do estado de contaminação e infecção pulpar, a pulpotomia parcial também pode ser recomendada em dentes permanentes maduros.

Em um estudo *in vivo* Selvendran et al (2022) compararam três tipos de materiais utilizados para capeamento pulpar indireto em molares permanentes. Foram realizados capeamentos pulpares em 36 molares, distribuídos igualmente entre Hidróxido de Cálcio, MTA

e Biodentine, com 12 molares em cada grupo. Utilizaram o software SPSS versão 21.0 para as análises estatísticas. O teste Qui-quadrado de Pearson foi empregado para comparar as taxas de sucesso e falha entre Biodentine, MTA e o Hidróxido de cálcio em 30, 90 e 180 dias, além das taxas gerais, independentemente dos intervalos de tempo. A taxa de significância foi de $P < 0,05\%$. Os resultados indicaram diferentes taxas de sucesso nos materiais de capeamento pulpar, com: 91,67% de sucesso para Biodentine, 83,33% para MTA e 58,33% para Hidróxido de Cálcio. Assim sendo, os autores concluíram que os materiais à base de silicato de cálcio apresentaram taxas superiores de sucesso em comparação com hidróxido de cálcio.

Fasoulas et al. (2023) realizaram uma comparação da eficácia de diferentes materiais utilizados em pulpotomias ou capeamentos diretos em dentes afetados por lesão cariosa. Evidências relevantes foram reunidas de ensaios clínicos randomizados em quatro bases de dados e dois registros de ensaios clínicos até fevereiro de 2021. Utilizando uma estratégia de pesquisa adaptada ao quadro PICO (População/Pacientes, Intervenção, Comparação/Controle, Desfecho/Outcome), obtiveram resultados e avaliaram o risco de viés, RoB (Risk of Bias), dos estudos primários de maneira independente e em duplicata. A avaliação RoB indicou um risco moderado nos estudos. Devido à heterogeneidade significativa, tanto clínica quanto estatística, não foi possível realizar uma meta-análise de rede (NMA). Os autores concluíram que, numa análise ad hoc de subgrupo, o capeamento pulpar direto com Agregado Trióxido Mineral (MTA) demonstrou maior sucesso em comparação com o Hidróxido de Cálcio (HC). O MTA apresentou melhor desempenho no capeamento pulpar, tanto em dentes com capeamento pulpar direto quanto em pulpotomias, de dentes maduros em comparação com dentes imaturos. A avaliação GRADE revelou uma força de evidência moderada para capeamento pulpar direto e dentes maduros, e uma força de evidência baixa a muito baixa para os demais subgrupos.

Drouri et al. (2023) avaliaram a reação da polpa ao capeamento pulpar direto e indireto, utilizando Biodentine como material. Foi conduzido um estudo no Departamento de Odontologia Conservadora em Casablanca, onde foram tratados 40 dentes em pacientes de 15 a 55 anos de idade. O tratamento envolveu a curetagem de lesão de cárie profunda, seguida por testes de sensibilidade e acompanhamento radiográfico após um, três e seis meses. Os resultados mostraram taxas de sucesso clínico de 90% em um mês, 85% em três meses e 80% em seis meses. Os autores observaram que, embora o MTA forme pontes duras de tecido mineralizado com sucesso clínico semelhante ao Biodentine, este último oferece vantagem de ser utilizado tanto em capeamentos diretos quanto indiretos, além de servir como preenchedor temporário por até seis meses. Foi concluído que, o custo e o tempo de presa reduzido do Biodentine juntamente com seu sucesso clínico demonstrado, o tornam uma excelente opção no tratamento de capeamentos pulpares diretos e indiretos.

4. DISCUSSÃO

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma análise acerca das propriedades físico-químicas e biológicas do Hidróxido de Cálcio, Agregado Trióxido Mineral (MTA) e Biodentine para a aplicabilidade clínica destes materiais em Terapia Pulpal Vital (TPV). Após análise criteriosa dos trabalhos supracitados acima, foi realizado uma discussão acerca das características como solubilidade, tempo de presa, atividade antibacteriana, resistência e bioestimulação, do qual foram citadas e comparadas, com a finalidade de analisar qual deles apresentam as melhores características para o sucesso clínico da TPV.

4.1 ASPECTOS GERAIS DA POLPA VITAL E SUAS RESPOSTAS INFLAMATÓRIAS

O propósito dos tratamentos conservadores e menos invasivos de TPV, é promover o restabelecimento do equilíbrio e das funções vitais de uma polpa saudável. Uma polpa saudável é capaz de cessar inflamações e estimular regeneração e reparo tecidual Selvendran et al (2022).

Frente à estímulos externos, como lesões de cáries ou traumas, a polpa vital de um dente pode desencadear respostas inflamatórias complexas. O processo de inflamação ocorre com o início das respostas hiperêmicas, que consistem na redução do número de células e achatamento das células odontoblásticas. Logo, acontece a dilatação dos vasos sanguíneos do interior da polpa que faz com que os leucócitos e plasmócitos (células de defesa), migrem para próximo à região contaminada. Diante disso, um aumento do fluxo sanguíneo interno pode ocorrer, levando ao aumento da pressão interna e inchaço. Para modular a resposta inflamatória, a polpa é capaz de liberar citocinas, e se a contaminação persistir, ocorre uma resposta mais intensa que pode levar à necrose tecidual. No entanto, a polpa possui alta capacidade de regeneração e reparo, principalmente se a intervenção da TPV for realizada antes e o dente for devidamente bem restaurado. O protocolo de manejo clínico da TPV é criterioso e exigente, porém é mais rápido e menos invasivo que o tratamento endodôntico Duncan et al. (2019).

4.1.1 Diagnóstico e manejo

Radiograficamente, as lesões cariosas podem ser descritas como profundas e extremamente profundas. As profundas têm como característica a presença de lesões de cárie radiolúcidas em uma zona que atinge as camadas mais profundas do dente, mas apresentando translucidez delimitada entre a lesão, a dentina e a polpa. Na Extremamente profunda, há grande extensão significativa da área radiolúcida próximo à câmara pulpar. Biologicamente exigente, o sucesso clínico da TPV visa, contudo, conhecimento e experiência clínica como aliadas, para que seus resultados sejam satisfatórios e na ocorrência de controlar a contaminação bacteriana a tempo, promover bioestimulação dos tecidos, além de restaurar de forma eficaz a cavidade criando um cenário durável e livre de infiltrações Duncan et al. (2019).

Nas manifestações clínicas de cáries profundas e com indícios de pulpíte reversível, protocolos de intervenção podem ser utilizadas para que não haja exposição pulpar, como escavação seletiva ou escalonada. Na escavação seletiva, há a remoção somente das áreas afetadas pela cárie, deixando os tecidos circundantes saudáveis preservados. Na escavação escalonada envolve a remoção em camadas, alcançando as camadas mais profundas. Estas abordagens fazem parte da odontologia minimamente invasiva, que busca preservar ao máximo a estrutura dentária. Quando a exposição pulpar ocorre na presença de cáries extremamente profundas, formas alternativas, como capeamento pulpar direto (CPD) e pulpotomia parcial ou cervical, podem ser discutidas. Dentes com pulpíte reversível tratados com escavação seletiva,

mesmo com exposição pulpar podem se beneficiar do CPD ou da pulpotomia Fasoulas, et al. (2023).

4.1.2 Fatores que influenciam no sucesso clínico da TPV

Com base no processo fisiológico de envelhecimento dos tecidos, a polpa dental passa por modificações em sua composição tecidual. Esse processo ocorre pela redução de um tecido rico em células e pobre em fibras, no caso de um dente jovem, para um dente com tecido senil, rico em fibras, porém pobre em células. Essas modificações fisiológicas de um tecido frouxo para um tecido mais mineralizado, incluem redução da taxa de renovação mineral e celular, resultando em maior propensão às cáries Torres (2013).

Concomitantemente, o fator idade é um fator essencial para tratamentos de TPV, e não há correlação alguma no impacto de dentes permanentes a serem erupcionados, em pacientes pediátricos que passaram por tratamento de terapia pulpar vital utilizando materiais biocompatíveis Parirokh, et al (2018). Foi relatado que dentes com ápices fechados possuem menor taxa de sucesso clínico em TPV se comparado com dentes com ápices abertos, que ainda não estão em processo de formação, Parirokh, et al (2018), pois dentes jovens possuem maior taxa de cicatrização e regeneração Lipski et al. (2018).

Diante disso, outros fatores podem determinar o sucesso clínico na TPV, como: tempo de sangramento interno, tamanho e dimensão da área contaminada, estado patológico do tecido pulpar lesionado e experiência clínica do cirurgião dentista Drouri et al. (2023).

A escolha dos melhores materiais desenvolvidos com as melhores propriedades físico-químicas e biológicas, que entregam maior capacidade de vedação em ambientes úmidos (hidrofilicidade) é um fator chave, para que não ocorra infiltrações, e assim, garantir o sucesso do tratamento Tawil, et al. (2015).

A metodologia empregada no manejo é um de suma importância para a aplicabilidade clínica em TPV, foi relatado por Parirokh, et al (2018), que dentes decíduos com lesões extensas de cáries, quando removidas com brocas ao invés de instrumentos cirúrgicos como a colher de dentina, em capeamentos pulvares direto e indireto, assim como em pulpotomias, tiveram melhores resultados ao longo do tempo. Logo, devido ao grande número de relatos de casos em literatura sobre o sucesso dos materiais em TPV, as estratégias de manejo tornam-se um fator essencial a ser considerado Parirokh, et al (2018).

Por conseguinte, além dos fatores supracitados acima, é de suma importância restaurar a cavidade de forma adequada para promover um selamento durável e livre de infiltrações, para preservação a longo prazo do dente Duncan et al. (2019).

4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS MATERIAIS

Possuir prática e conhecimento sobre características físico-químicas dos materiais, como: Solubilidade, porosidade, tempo de presa, biocompatibilidade e bioestimulação, é de suma importância para a tomada de decisões na hora da escolha de qual material utilizar em tratamentos na rotina clínica Ceci et al. (2015).

4.2.1 Hidróxido de Cálcio

Introduzido em 1930 como agente remineralizante no capeamento pulpar direto Gandolfi (2015), o hidróxido de cálcio é um composto altamente alcalino, seu potencial hidrogeniônico (ph), gira em torno de 12, o que contribui para suas propriedades antimicrobianas e capacidade de formar dentina reparadora. É extraído a partir da reação de

calcinação do carbonato de cálcio, que tem como produto óxido de cálcio, possui solubilidade limitada, ao reagir com água o composto é dissociado em íons hidroxila e cálcio, e a ação desses íons sobre bactérias e tecidos caracteriza suas propriedades antimicrobianas e biológicas. Participa ativamente dos processos de reparo da polpa, no entanto, possui pouca hidrofiliabilidade, além formar pontes de dentina pouco homogêneas e apresentar elevado tempo de presa Estrela et al. (2023)

Suas formas de apresentação são em pó ou pasta, em suspensões, soluções e cimentos autoativados e fotopolimerizados. Em forma de pó (pó análise ou p.a), é mais indicado para exposições pulpares, do qual deve ser aplicado somente em região afetada e não nas paredes circundantes de dentina. Na formulação de pasta, está indicada para TPV, em que a manipulação deve ser feita juntamente com água destilada ao pó, seguindo as recomendações do fabricante. Contudo, ambas formas não tomam presa e para isso, é necessária uma fina camada de hidróxido de cálcio seguido de ionômero de vidro. Os cimentos autoativados e fotopolimerizados estão indicados como forradores cavitários; algumas formulações foram desenvolvidas contendo resina polimérica em sua composição, o que permite resistência aos ácidos, resistência às compressões, maior capacidade de selamento, reduzindo risco de infiltrações e contaminações, ao contrário do que apresenta os sem a resina polimérica em sua composição Torres (2013). Podemos citar exemplos de materiais convencionais à base de hidróxido/óxido de cálcio ou modificados por resina as marcas: Dycal (desde 1962), Life (desde 1979) e Calxyl (desde 1988). As marcas Lime-Lite, foram introduzidos mais tarde como agentes de capeamento pulpar devido à sua capacidade de liberar íons de cálcio e hidroxilas por dissociação iônica Gandolfi (2015).

Contudo, Além de possuir boa biocompatibilidade, as suas desvantagens incluem alta solubilidade, não proporciona vedação ideal e apresenta defeitos em túnel na ponte dentinária, Nie et al (2021). Foi relatado por Parirokh et al (2018), que o fracasso envolvendo TPV utilizando Hidróxido de cálcio, está associado a falta de adesão à dentina, com consequente vazamento, irregularidades na formação de dentina e dissolução ao longo do tempo em um ambiente úmido, o que leva a um vazio sob a restauração.

4.2.2 Agregado trióxido mineral (MTA) e suas novas formulações

Quanto às composições químicas e características físico-químicas do MTA Tawil et al. (2015), citam que o MTA Pro Root da Dentsply tradicional é formado por cálcio, alumínio e selênio, e é derivado do composto cimento Portland, porém diferentes em suas formulações, pois passam por processos de purificação e contém menos metais pesados. Devido às suas vantagens e propriedades de biocompatibilidade, capacidade de vedação em ambientes úmidos (hidrofiliabilidade). Contudo, foi possível analisar na literatura, que o MTA convencional apresentava alguns problemas, como difícil manipulação, manchas coronais (formulação cinza), além de longo tempo de presa.

Com isso, foi necessário o desenvolvimento de novos cimentos biocerâmicos com composição original do MTA, como o MTA Angelus (Angelus, Londrina, PR, Brasil) nas formulações cinza e branco e o MTA Repair HP. O MTA branco é composto por cálcio, silício, bismuto e oxigênio, e o MTA cinza apresenta cálcio, ferro, silício, alumínio, bismuto e oxigênio, do qual o cálcio e o silício são os mais prevalentes; a aluminoferrita é o responsável pela sua coloração cinza. A manipulação do MTA cinza e do MTA branco, a água deve ser incorporada ao pó, conforme as recomendações do fabricante, essa mistura resulta em um gel coloidal. O MTA branco possui concentrações reduzidas de óxidos de ferro, alumínio e

magnésio, e esse, é o principal fator das diferenças entre eles, mas mesmo com essas modificações, o MTA branco possui as mesmas propriedades que o cinza Tawil (2015).

No MTA HP Repair, foi acrescentado à sua composição, um polímero plastificante, que melhora sua viscosidade e propriedades físico-químicas. Assim, na composição do MTA HP Repair, foi realizada a substituição do radiopacificador Bismuto pelo Tungstato de Cálcio. Assim, esta nova formulação possui alto potencial plasticidade, com as mesmas propriedades biológicas que o MTA convencional, mas que oferece manuseio e inserções fáceis, devido à mudança no tamanho das partículas do pó do MTA e à adição de um plastificante ao líquido Sarzeda et al. (2019).

4.2.3 Biodentine

Nas composições químicas e características físico-químicas, segundo Drouri et al. (2023), o Biodentine em pó consiste em silicato tricálcico, silicato dicálcico, carbonato de cálcio, óxido de zircônio, óxido de cálcio, óxido de zircônio, óxido de cálcio, óxido de ferro, além de cloreto de cálcio que atua como catalizador e um polímero hidrossolúvel que age como redutor de água. Malkondu et. al (2014) em um estudo, afirmaram que o Biodentine possui características físico-químicas superiores em relação ao hidróxido de cálcio e MTA, como: tempo de presa mais curto, maior resistência, menos solúvel e proporciona uma vedação mais elevada. Dito isso, o qualifica para evitar três desvantagens principais do hidróxido de cálcio e MTA, como reabsorção do material, instabilidade mecânica, infiltrações e manchas coronais.

4.2.4 Mecanismo de Ação dos Materiais

Por muito tempo o Hidróxido de cálcio foi considerado padrão ouro em TPV, devido ao seu alto potencial hidrogeniônico (ph), estimulam os fibroblastos e enzimas a participarem dos processos de regeneração, como: reparo, produção de matriz extracelular, modulação das respostas inflamatórias e de tecido lesionado Selvendran, et al (2022).

Torres (2013) afirma que histologicamente, nos primeiros dias, é observado tecido superficial lesionado, necrosado e células inflamadas. O ácido lácteo liberado pelos osteoclastos durante esse processo, sofrem neutralização quando entram em contato com o material, o ph do material exerce propriedades de efeito tampão, o que faz com que promova efeitos fisiológicos adequados, como prevenir destruição de tecido mineralizado. Os íons de cálcio reduzem a permeabilidade dos vasos, o que faz com que haja maior concentração desses íons nas áreas afetadas. A resposta inflamatória é reduzida gradualmente, até que uma matriz rica em células de colágeno é formada estimulando as células mesenquimais indiferenciadas, a se transformarem em células odontoblastoides que liberam matriz dentinária amorfa e tubular. Em seguida, após 30 dias, tecido mineralizado e pontes de dentina atubulares são formadas durante esse processo.

Assim sendo, o MTA e o Biodentine possuem mecanismo de ação semelhantes ao do hidróxido de cálcio, por conter óxido de cálcio, eles entram em contato com água, formando moléculas de íons cálcio e hidroxilas. Estas moléculas fazem parte dos processos de regeneração e reparo. Destarte, o Biodentine é um material caracterizado pela liberação de íons de cálcio quando em solução. Materiais à base de silicato tricálcico sintetizam hidroxiapatita quando entram em contato com fluidos Malkondu et al. (2014).

As diferenças entre o cimento de Hidróxido de cálcio, e o Agregado Trióxido Mineral e Biodentine, está na sua formulação e composição, e consequentemente em suas reações físico-químicas e biológicas. Foi relatado em estudos que o MTA tem potencial de estimular a formação de tecido mineralizado e formar pontes de dentina mais espessas e uniformes, se

comparado com o Hidróxido de cálcio, além de redução da inflamação desencadeada. O MTA e o Biodentine, aumentam as atividades celulares e de bioestimulação. No entanto, o cimento de silicato tricálcico (Biodentine) apresenta melhores resultados de liberação de fosfatase alcalina, da sialoproteína dentinária que atuam nos processos de reparo e regeneração e sintetização de tecidos mineralizados; em comparação aos cimentos agregados de trióxido mineral Paula et al. (2019).

4.2.5 Biocompatibilidade e Bioestimulação

A capacidade de liberação de íons de cálcio e hidróxido de cálcio é um fator chave para o sucesso clínico de terapias pulpares, pois os íons de cálcio aumentam a atividade celular de reparo ativando proteínas morfogenéticas, como a pirofosfatase no processo de mineralização. Na formulação convencional de Hidróxido de cálcio, como (Calxyl) a capacidade de liberar esses íons são menores se comparado com as formulações de cimentos de silicato de cálcio que contém resina de hidróxido de cálcio Gandolfi (2015).

Os processos de reparo e mineralização pulpar dependem diretamente do potencial hidrogeniônico do material, em liberar íons nas camadas celulares da polpa. O MTA e o Biodentine possuem em sua composição Silicato tricálcico e Silicato dicálcico, que por sua vez reagem com a polpa liberando íons. Estes íons participam dos processos de sinalização intracelular, ativando as proteínas Mitogen-Activated Protein Kinase (MAPK), que reage em função aos estímulos externos e promovendo diferenciação gênica e odontoblástica. Assim sendo, com o aumento desses estímulos e sintetização de fosfatase alcalina, ocorre a formação de sialoproteínas e grânulos de cálcio. O MTA estimula a diferenciação de célula e induz secreção de proteínas morfogenéticas. Por sua vez, assim como o MTA, o Biodentine ocorre a reação de hidratação com o silicato tricalcico com a água, resultando na formação de silicato de cálcio hidratado. A formação desses produtos é crucial para os processos bioativos e bioestimuladores, pois contribuem para a indução e mineralização de reparo tecidual Paula et al. (2019).

Devido às propriedades de ação do cálcio em promover diferenciação celular e mineralização dos tecidos duros, faz dele um fator essencial para o sucesso clínico da TPV Guimarães et al (2018).

O MTA e o Biodentine possuem a propriedade biológica de estimular células-tronco pulpares e a deposição mineral através da liberação de cálcio, favorecendo na formação de tecido duro, e formação de cristais de apatita dentro dos tecidos pulpares Reis et.al (2021).

Os materiais de silicato de cálcio liberam hidróxido de cálcio que não se dissolvem com o tempo. Diferente do hidróxido de cálcio, materiais de silicato de cálcio induzem atividade dentinogênica, reduzem a inflamação pulpar e tem como característica, estabilidade e melhor formação de pontes dentina Selvendran et al. (2022).

4.2.6 Citotoxicidade

Paula et al. (2019) avaliaram que a citotoxicidade do tratamento com os biomateriais Biodentine, Pro Root MTA, foi muito inferior aos valores de 40 a 45% aceitos pelas normas ISO. Nos resultados, foi observado que as camadas externas células quando entram em contato com o biomaterial atuam como protetores, que reagem contra os estímulos externos, tornando o tratamento viável e com altas chances de sucesso clínico. Devido às diferenças moleculares e estruturais, do cimento à base de hidróxido de cálcio e os agregados de trióxido mineral e cimentos de silicato tricálcico, suas reações físico-químicas e biológicas são relativamente relevantes. Foi relatado que o MTA induz menos inflamação dos tecidos e uma barreira de

tecido duro mineralizado mais espessa e uniforme, enquanto os cimentos a base de hidróxido de cálcio possuem resultados significativamente contrária.

Concomitantemente Selvendran et al. (2022) afirmaram que histologicamente, o hidróxido de cálcio demonstrou através de uma análise que sua citotoxicidade em culturas celulares induziu apoptose celular, o que demonstra que é instável e reabsorvido ao longo de um período.

4.2.7 Porosidade e Solubilidade

Se tratando do Hidróxido de cálcio, por apresentar alta solubilidade em reação aos tecidos e falta de adesão, diante disso o material é incapaz de proporcionar uma vedação ideal, pois embora a ponte dentinária pareça estar totalmente formada nos primeiros dias, ela apresenta defeitos e irregularidades em túnel na formação de pontes dentinárias, porém melhoram com o aumento da espessura da ponte Nie et al. (2021). Em um estudo foi verificado que a marca Calxyl de base Hidróxido de cálcio puro com ou sem agente radiopacificador, demonstrou alta solubilidade e rápida dissolução em ambientes hemorrágicos, o que o torna inadequado em ambientes hidrofílicos. Por outro lado, as marcas Dycal e Life, por conterem em sua composição óxido de zinco e uma fase resinosa salicilato de metila e butil benzeno sulfonamida, proporcionam baixa solubilidade em teste, com cerca de 4,91% e 3,98% e porosidade aparente 9,04% e 7,49%; sorção de água 5,06% e 4,41%, respectivamente. A formulação fotopolimerizável Lime-Lite apresentou sorção em água de 8,9%, mas a solubilidade muito baixa de 1,7% Gandolfi (2015).

Nesse contexto, a solubilidade está relacionada com a dissolução completa durante as reações de hidratação e presa dos cimentos e a capacidade de liberação de sais de cálcio e hidróxido de cálcio. Devem apresentar valores menores que 3% de acordo com as normas da ISSO 6876:2001, para que exista um certo grau de solubilidade, para o processo reação de mineralização ocorra em tecidos pulparem Guimarães et al. (2018).

O tamanho das estruturas e partículas determinam a porosidade do material, pois o diâmetro do poro determina o grau e número infiltrações bacterianas, quanto maior o poro maior as chances de infiltrações. Logo, poros de menor calibre possuem capacidade de aumentar a superfície de contato das estruturas com a mistura, resultando em maior resistência inicial e melhor manuseio do material. Foi demonstrado que a porosidade tem impacto sobre vários outros fatores, como: adsorção, permeabilidade, resistência e densidade Malkondu et al. (2014). Além disso, um material parcialmente poroso biologicamente ativo na polpa exposta pode ativar células-tronco pulparem e estimular a formação de dentina reparadora Gandolfi (2015).

Devido ao Agregado Trióxido Mineral (MTA), possuir capacidade hidrofílica, a umidade presente nos tecidos age ativando a reação química deste material. Estudos apontam que propriedade seladora do MTA é em relação de sua natureza hidrofílica e à ligeira expansão, quando inserido em ambiente úmido. Logo, a reação de presa do cimento é devido aos compostos de anidros do material com a água, essas habilidades os tornam úteis em diversos procedimentos odontológicos, como reparo pulpar em TPV e apicificação Sardeza et al. (2019). Em um estudo Gandolfi (2015) relata que o ProRoot MTA apresentou menor liberação de cálcio e solubilidade em comparação com todos os cimentos a base de silicato de cálcio. O MTA Angelus apresentou forte efeito alcalinizante e a maior sorção de água cerca de 37%, porosidade aparente 49,5% e solubilidade 29,55% associadas à liberação de cálcio e bioatividade.

Nesse sentido, a viscosidade e solubilidade do Biodentine quando utilizado em TPV, deve ser observado, pois vazamentos podem resultar em sensibilidade pós-operatória e cáries

secundárias. O Biodentine possui propriedades essenciais quanto à adesão das paredes, não necessitando de preparo específico. Assim sendo, sua integridade marginal possui propriedade capacidade de formar cristais de hidroxiapatita na superfície, estes cristais são responsáveis por aumentar a capacidade de selamento, principalmente na interface do material com as paredes dentinárias. Além disso, a interação química presente entre os íons fosfato da saliva e os cimentos à base de silicato de cálcio, leva à formação de depósitos de apatita, o que aumenta o potencial de vedação. A nanoestrutura e o pequeno tamanho do gel formador do cimento de silicato de cálcio são fatores que influenciam a selabilidade, pois permite que o material se espalhasse melhor na superfície da dentina. Além disso, a expansão que contribui para sua melhor adaptação Malkondu et al. (2014).

Em comparação ao MTA, em um estudo em seres humanos Drouiri et al. (2023) afirmam que o biodentine pode ser usado em capeamentos diretos e indiretos e como preencher temporário por até seis meses. O Biodentine apresenta propriedades favoráveis na TPV, sendo semelhante ao MTA. Na ficha técnica do Biodentine, é informado quanto à sua propriedade de melhorias com o tempo em termos de resistência à compressão, até atingir semelhança à da dentina natural, agindo como dentina substituta. Novos materiais à base de silicato de cálcio são desenvolvidos e patenteados para superar as desvantagens do MTA Malkondu et al. (2014).

Em um estudo Selvendran et al. (2022), afirmaram que o Biodentine é mais biocompatível, tem tempo de presa clinicamente mais reduzido, possui melhor resistência mecânica, melhor adesão à superfície da dentina e manuseio. Ademais, quando a dentina remanescente após a escavação da lesão cárie é mínima, foi demonstrado que o Biodentine é melhor que o MTA para procedimentos de capeamento pulpar, pois pode ser usado como um material confiável para esses procedimentos.

Além disso, foi relatado através de uma análise, que a alta liberação de cálcio pelo cimento de silicato tricálcico (Biodentine) nas primeiras horas, está relacionado com a reação de hidratação da molécula nas últimas 3 horas, e com a baixa solubilidade, cerca de 11,83% demonstrado em um estudo, por apresentar na sua composição o superplastificante redutor de água e dispersante Gandolfi (2015).

4.2.8 Tempo de presa

Se tratando do tempo de presa dos cimentos à base de silicato de cálcio, algumas substâncias retardam ou aceleram o tempo de presa. Por exemplo: Há 5% de sulfato de cálcio que é um retardador diidratado na composição do ProRoot MTA, que possui tempo de presa em torno de 2 horas e 57 minutos. Outras formulações de MTA nas quais o sulfato de cálcio foi removido e conseqüentemente houve redução no tempo de presa, em torno de 15 a 40 minutos. Algumas formulações também apresentam em sua composição cloreto de cálcio, que atua como um catalizador das reações fazendo com que o tempo de presa seja menos de uma hora Estrela et al. (2023). Além disso, em uma análise Sardeza et al (2019) verificaram que o agente plastificante de finas partículas e hidrofílicas, são responsáveis por reduzir o tempo de presa do MTA Repair HP que o possibilita a ser usado em capeamento pulpar e retrobturações. Entretanto, em um estudo Arandi et al (2021) relataram através da literatura que Biodentine demonstra melhores propriedades, como aplicação mais fácil e um tempo de presa inicial mais curto 12-16 min do que algumas formulações do MTA em tratamentos de terapias pulpares.

4.2.9 Microdureza

A resistência à compressão, esta é uma das principais características físicas dos cimentos hidráulicos. Se tratando da área e da superfície de contato entre o material e tecido, é

essencial que o cimento tenha capacidade de resistir às forças mastigatórias, ou seja, resistência à compressão suficiente para resistir aos impactos externos Malkondu et al. (2014). Foi relatado através de um estudo na literatura, que o Biodentine demonstra melhores propriedades mecânicas, melhor estabilidade de cor, e menos potencial de descoloração, Arandi et al (2021).

Além disso, estes materiais devem possuir capacidade de vedação ideais sobre terapias pulpares, afim de selar contra infiltrações bacterianas. A literatura relata que as infiltrações bacterianas permitem que o extravasamento bacteriano influencie diretamente no sucesso clínico, pois estimulam a atividade inflamatória e reduz as áreas de formação de pontes dentinárias, o que pode reduzir a resistência Arandi et al (2021). Além disso, foi relatado que a porosidade dos materiais tem impacto direto sobre a resistência e densidade Malkondu et al. (2014).

4.2.10 Radiopacidade

A radiopacidade é uma propriedade importante de um biomaterial, pois precisam ser identificados dos tecidos adjacentes. Dito, isso a ISO 6876:2001 estabeleceu 3 mm Al como o valor mínimo de radiopacidade para cimentos endodônticos. Em suma, de acordo com a especificação ANSI/ADA número 57, todos os cimentos endodônticos devem ter pelo menos 2 mm de Al mais radiopacos que a dentina ou o osso. A radiopacidade é determinada através do método desenvolvido por Tagger e Katz, onde imagens radiográficas do material são reveladas ao lado de uma cunha de alumínio Malkondu et al. (2014).

Os primeiros cimentos hidráulicos utilizavam óxido de bismuto como agente radiopacificador; mas foi comprovado que esta substância causava maior porosidade e escurecimento dos tecidos duros dentais. Logo, foi reduzido à bismite de cor cinza escuro, do qual o colágeno nos tecidos tem afinidade com esta substância. Para que o óxido de bismuto não sofra escurecimento, é necessário adicionar 5% de óxido de zinco à formulação. Assim sendo, os radiopacificadores foram reformulados mais tarde com óxido de zircônio, tungstato de cálcio e outros, que, apesar de apresentarem radiopacidade baixa, quando aumentados no percentual em 20% ou mais, proporcionam radiopacidade acima de 3mm Al se enquadrando nas normas ISO.

Desta forma, foi possível observar que os radiopacificadores não causam risco de alteração da cor dos dentes e não interferem nas propriedades físico-químicas do cimento hidráulico a base de silicato de cálcio Estrela et al. (2023). Além disso, foi observado que os materiais à base de MTA tem valores de densidade mais elevados em comparação com Biodentine. A radiopacidade do Biodentine foi avaliada e apresentou radiopacidade menor em comparação com o MTA Ceci et al (2015).

4.2.11 Atividade Antibacteriana

Por fim, o pH de um material é uma propriedade física essencial e geralmente está relacionado à resposta pulpar. As pesquisas mostram que o perfil de pH de todos os meios condicionados aos biomateriais está dentro do espectro de alcalinidade, sem diferenças relevantes entre eles. Está confirmado que o pH está diretamente relacionado ao seu efeito antimicrobiano e inibitório sobre o crescimento de microrganismos Paula et al. (2019).

Estas propriedades alcalinizantes dos cimentos de silicato de cálcio são devidas à formação de hidróxido de cálcio quanto à liberação de cálcio das partículas de silicato de cálcio Guimarães et al. (2018). Em suma, Arandi et al (2021) relataram que os íons hidroxila aumentam o pH do tecido circundante e fornece o efeito antimicrobiano do Biodentine Ceci et al (2015), através de um teste de alcalinidade, relatou que após 3 horas, o ProRoot MTA

demonstrou maior ph superior ao Biodentine, isso reforça a ideia de que a presença de óxidos metálicos no MTA promove maior dissociação iônica elevando assim seu ph.

5. CONCLUSÃO

Com base nessa revisão de literatura, pode-se concluir que:

- a. Torna-se importante tratamentos menos invasivo e conservador de Terapia pulpar vital em dentes que sofreram lesões ou traumas, afim de obter o restabelecimento das funções vitais da polpa, preservando o dente ao máximo de tratamentos mais invasivos, como pulpectomia e tratamento endodôntico;
- b. O Hidróxido de cálcio foi empregado por muitos anos nestas terapias conservadoras como material padrão ouro. No entanto, apresenta vários tipos de falhas clínicas; como formação de pontes de dentina porosas, alta solubilidade e rápida dissolução em ambientes hemorrágicos, infiltrações, tem longo tempo de presa e é mais indicado como medicação intracanal. A formulações contendo resina polimérica permite maior resistência aos ácidos e compressões, possui menor risco de infiltrações, mas as taxas de sucesso clínico são menores se comparado com os materiais a base de silicato dicálcico e silicato tricálcico;
- c. O ProRoot MTA branco e cinza da Dentsply apresenta boa capacidade de vedação, maior ph, excelente biocompatibilidade com os tecidos pulpare, baixa toxicidade, baixa solubilidade se comparado ao hidróxido de cálcio. Porém, foi constatado que este material apresentava pequenas falhas clínicas, como inserção e tempo de presa elevado e sua versão cinza pode causar manchamento coronal;
- d. O MTA branco e cinza da Angelus, o seu tempo de presa é reduzido, possui alta capacidade de bioestimulação formando pontes de dentina homogêneas, reduz a inflamação pulpar, e sua versão branca não ocasiona manchas coronais;
- e. O MTA Repair HP da Angelus possui em comparação ao MTA convencional melhor solubilidade, fácil manipulação, menor tempo de presa, não causa manchas coronais, e o agente plastificante adicionado na sua composição melhora a capacidade de adaptação, porém são necessárias mais pesquisas *in vivo* e *in vitro* para que seja constatado sua superioridade em relação às demais formulações;
- f. O Biodentine apresenta alto poder de presa devido a adição de cloreto de cálcio na fórmula e fácil manipulação e inserção, não apresenta capacidade de descoloração dos dentes e possui propriedades semelhantes a dentina, porém possui baixa radiopacidade e boa capacidade alta de adesão as paredes. No entanto, como ainda se encontra em fase de desenvolvimento não é muito utilizado nas rotinas clínicas por cirurgiões dentistas.

Assim sendo, conclui-se que até a presente data desta revisão de literatura, os biomateriais a base de silicato de cálcio possuem superioridade máxima se comparado com as formulações de hidróxido de cálcio em TPV.

REFERÊNCIAS

ABUELNIEL, G. M; DUGGAL, M.S.; DUGGAL, S; KABEL N.R. Evaluation of Mineral Trioxide Aggregate and Biodentine as pulpotomy agents in immature first permanent molars with carious pulp exposure: A randomised clinical trial. **European journal of paediatric dentistry**, v. 22, p. 19-25, 2021. DOI: <https://doi.org/10.23804/ejpd.2021.22.01.04>. Disponível em: https://www.ejpd.eu/pdf/EJPD_2021_22_01_04.pdf. Acesso em: 18 out 2023.

ÇALIŞKAN, Mehmet Kemal; GÜNERİ, Pelin. Prognostic Factors in Direct Pulp Capping with Mineral Trioxide Aggregate or Calcium Hydroxide: 2- To 6-Year Follow-Up. **Clinical Oral Investigations**, v. 21, p. 357-367, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1798-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00784-016-1798-z/> Acesso em: 18 out 2023.

CAMONI, Nicole; CAGETTI, Maria Grazia; CIRIO, Silvia; ESTEVES-OLIVEIRA, Marcella; CAMPUS, Guglielmo. Partial Pulpotomy in Young Permanent Teeth: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Children**, v. 10, n. 9, agosto, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/children10091447/>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9067/10/9/1447>. Acesso em: 18 out 2023.

CECI, Matteo; BELTRAMI, Riccardo; CHIESA, Marco, COLOMBO, Marco; POGGIO, Cláudio. Biological and Chemical-Physical Properties of Root-End Filling Materials: A Comparative Study. **Journal Of Conservative Dentistry**, v. 18, n. 2, p. 94-99, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4103/0972-0707.153058>. Disponível em: <https://www.jcd.org.in/article.asp?issn=0972-0707;year=2015;volume=18;issue=2;spage=94;epage=99;aulast=Ceci>. Acesso em: 08 nov 2023.

DROURI, Sofia; EL MERINI, Hafsa; SY, Aly; JABRI, Mouna. Evaluation of Direct and Indirect Pulp Capping With Biodentine in Vital Permanent Teeth With Deep Caries Lesions. **Cureus**, v. 15, n. 5, maio, 2023. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.39374>. Disponível em: <https://www.cureus.com/articles/158065-evaluation-of-direct-and-indirect-pulp-capping-with-biodentine-in-vital-permanent-teeth-with-deep-caries-lesions-a-case-series#!/>. Acesso em: 15 out 2023.

DUNCAN, H. F et al. European Society of Endodontology Position Statement: Management Of Deep Caries And The Exposed Pulp. **International Endodontic Journal**, v. 52, n. 7, p. 923-934, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/iej.13080>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/iej.13080>. Acesso em: 08 nov 2023.

ESTRELA, Carlos et al. Mechanism of Action of Bioactive Endodontic Materials. **Brazilian Dental Journal**, v. 34, n. 1, p. 1–11, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6440202305278>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bdj/a/TwbQKKpGkTRXDqS4Rm8zFLM/?lang=en>. Acesso em: 12 nov 2023.

FASOULAS, Athanasios et al. Comparative efficacy of materials used in patients undergoing pulpotomy or direct pulp capping in carious teeth: A Systematic Review And Meta-Analysis. **Clinical And Experimental Dental Research. Advance Online Publication**, setembro 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/cre2.767>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cre2.767>. Acesso em: 25 out 2023.

GANDOLFI, M. G., SIBONI, F., BOTERO, T., BOSSÙ, M., RICCITIELLO, F., & PRATI, C. Calcium Silicate and Calcium Hydroxide Materials for Pulp Capping: Biointeractivity,

Porosity, Solubility and Bioactivity Of Current Formulations. **Journal Of Applied Biomaterials & Functional Materials**, v. 13, n. 1, p. 43–60, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5301/jabfm.5000201>. Disponível em:

<https://journals.sagepub.com/doi/10.5301/jabfm.5000201>. Acesso em: 14 nov 2023.

GUIMARÃES, Bruno Martini; PRATI, Carlo; DUARTE, Marco Antônio Hungaro; BRAMANTE, Clovis Monteiro; GANDOLFI, Maria Giovanna. Physicochemical Properties of Calcium Silicate-Based Formulations MTA Repair HP And MTA Vitalcem. **Journal Of Applied Oral Science**, v. 26, abril, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2017-0115/> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jaos/a/XtnTWGcGSMNVXn8WM43tqjx/?lang=en>. Acesso em: 30 out 2023.

LIPSKI, Mariusz et al. Factors affecting the outcomes of direct pulp capping using Biodentine. **Clinical Oral Investigations**, v. 22, n. 5, p. 2021–2029, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2296-7>. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2296-7>. Acesso em: 24 out 2023.

MALKONDU, Özlem; KAZANDAĞ Meriç Karapinar; KAZAZOĞLU, Ender. A Review On Biodentine, A Contemporary Dentine Replacement And Repair Material. **Biomed Research International**, v. 2014, junho 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/160951>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/160951/>. Acesso em: 24 out 2023.

MIYASHITA, Hiroshi; WORTHINGTON, Helen V.; QUALTROUGH, Alison; PLASSCHAERT, Alphons. WITHDRAWN: Pulp management for caries in adults: maintaining pulp vitality. **The Cochrane Database Of Systematic Reviews**, v. 11, novembro, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004484.pub3>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6734125/>. Acesso em: 15 nov 2023.

NIE, Ermin et al. Effectiveness of Direct Pulp Capping Bioactive Materials in Dentin Regeneration: A Systematic Review. **Materials**, v. 14, n. 22, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14226811>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/22/6811>. Acesso em: 24 out 2023

PARIROKH, M.; TORABINEJAD, M.; DUMMER, P. M. H. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part I: vital pulp therapy. **International Endodontic Journal**, v. 51, n. 2, p. 177–205, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/iej.12841>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/iej.12841>. Acesso em: 02 nov 2023.

PAULA, Anabela et al. Biodentine Boosts, WhiteProRoot MTA Increases and Life Suppresses Odontoblast Activity. **Materials**, v. 12, n. 7, abril. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma12071184>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/7/1184>. Acesso em: 11 nov 2023.

PEDANO, Mariano S et al. Cytotoxicity and Bioactivity of Dental Pulp-Capping Agents towards Human Tooth-Pulp Cells: A Systematic Review of In-Vitro Studies and Meta-Analysis of Randomized and Controlled Clinical Trials. **Materials**, v. 13, n. 12, junho. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13122670>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/12/2670>. Acesso em: 11 nov 2023.

REIS, Magda de Sousa et al. Pulp capping with mineral trioxide aggregate or Biodentine: a comparison of mineralized barrier formation and inflammatory and degenerative events.

Brazilian Oral Research, v. 35, dezembro, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2021.vol35.0118>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bor/a/c7gMDKJHRjZz4m4QsYXqmrq/?lang=en>. Acesso em: 11 nov 2023.

SARZEDA, Gabriela Duarte Rocha et al. Análise da composição química dos cimentos MTA Angelus branco, cinza e HP Repair através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada a Espectrômetro de Energia Dispersiva (EDS). **Revista de Odontologia da UNESP**, 2019. Acesso restrito via base de dados Scielo.

SELVENDRAN, K. E.; AHAMED, A. S.; KRISHNAMURTHY, M.; KUMAR, V. N.; RAJU, V. G. Comparison of three different materials used for indirect pulp capping in permanent molars: An *in vivo* study. **Journal of Conservative Dentistry**, v. 25, n. 1, p.68-71, 2022. DOI: https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_551_21. Disponível em: <https://www.jcd.org.in/article.asp?issn=0972-0707;year=2022;volume=25;issue=1;spage=68;epage=71;aulast=Selvendran>. Acesso em: 11 nov 2023.

SINGH, Archana; KAUR, Harsimran; SONI, Priyanka; CHOUDHARY, Rishika; YELURI Ramakrishna. Evaluation of Biodentine Pulpotomy in Caries-Exposed Symptomatic Vital Mature Permanent Teeth in 9–13-Year-Old Children: A 24-Month Clinico-Radiographic Observation. **Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects**, v. 16, n. 4, p. 264–269, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34172/joddd.2022.042>. Disponível em: <https://joddd.tbzmed.ac.ir/Article/joddd-36677/>. Acesso em: 20 out 2023.

TAWIL, Peter Z.; DUGGAN, Derek J.; GALICIA, Johnah C. Mineral Trioxide Aggregate (MTA): its History, Composition, and Clinical Applications. **Compendium Of Continuing Education in Dentistry**, v. 36, n. 4, p. 247–264, 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4962539>. Acesso em: 20 out 2023.

TOPÇUOĞLU, Gamze; Topçuoğlu, Hüseyin Sinan. Fracture Resistance of Primary Molars After Pulpotomy Procedure Using Mineral Trioxide Aggregate or Biodentine. **The Journal of Clinical Pediatric Dentistry**, v. 47, n. 5, p. 133–137, 2023. DOI: <https://doi.org/10.22514/jocpd.2023.062>. Disponível em: <https://www.jocpd.com/articles/10.22514/jocpd.2023.062>. Acesso em: 03 nov 2023.

TORRES, Carlos Rocha G. **Odontologia Restauradora Estética e Funcional**. São José dos Campos: Grupo GEN, 2013. E-book. Acesso restrito via Minha Biblioteca.

