

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

**CAPACIDADE DE SELAMENTO APICAL DE DIFERENTES
CIMENTOS ENDODÔNTICOS EM DENTES COM ÁPEX
ABERTO. UM ESTUDO *IN VITRO*.**

Trabalho submetido por
Estelle Lucie Marianne Barrat
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Outubro de 2025

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

**CAPACIDADE DE SELAMENTO APICAL DE DIFERENTES
CIMENTOS ENDODÔNTICOS EM DENTES COM ÁPEX
ABERTO. UM ESTUDO *IN VITRO*.**

Trabalho submetido por
Estelle Lucie Marianne Barrat
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutor Diego António Velázquez González

Outubro de 2025

Agradecimentos

Em primeiro lugar queria agradecer o meu orientador, o Professor Doutor Diego González pela disponibilidade, a ajuda e a desmpanho todo ao longo deste trabalho.

Ao professor João Neves para dar-me acesso ao cimento e pela disponibilidade durante a realização deste estudo.

Ao professor Luís Proença pela reatividade e a ajuda relativamente à análise estatística.

Aos meus pacientes pela paciência, as lições e todos estes momentos na clínica.

Aos funcionários da Clínica Universitária Egas Moniz, pelos sorrisos e a gentileza de todos os dias.

À ma famille pour le soutien inconditionnel dans les hauts et les bas de ces dernières années.

À mes amis de Brest pour l'écoute et le soutien de loin même si on n'a pas pu se voir beaucoup ces dernières années.

À Laura pour toutes nos après-midis au café et à la BU, pour ton écoute, tes conseils, pour la discipline, pour la disponibilité sans faille.

À mes amies de la fac, Sarah, Tu-Anh et Aimée pour nos sorties au bubble tea, la présence et la force que vous m'avez apporté tout au long de ces années.

A melhor dupla Inês, pelo suporte incondicional, especialmente durante todos os momentos de dúvidas, para a tua paciência e a tua flexibilidade que me ajudaram muito a melhorar a minha prática, para todos os teus truques que fazem a diferença e para sempre dar disponibilidade para ajudar ! Apesar de não partilhar o meu amor para as batatas de cebolas durante os breaks foi sempre um prazer imenso de trabalhar contigo.

Resumo

Objectivos: Como apareceu recentemente o NeoMTA2, um cimento endodôntico biocerâmico apresentado como sendo promissor nas apexificações, justifica-se de avaliar *in vitro* a sua capacidade de selamento apical utilizando a técnica da barreira apical com duas espessuras diferentes em dentes com ápices abertos pelo recurso do teste de microfiltração apical de corante e visualização pela diafanização.

Materiais e métodos: Foram utilizados 30 dentes monoradiculares humanos, distribuídos aleatoriamente em dois grupos de estudo (n=10) e dois grupos de controlo (n=5). Para standardizar a amostra, os dentes foram instrumentados de maneira a simular um ápex aberto a 0,80mm de diâmetro e posteriormente distribuídos aleatoriamente nos dois grupos de trabalho consoante a espessura das barreiras apicais do grupo 1 (Barreira apical de NeoMTA2 de 4mm e obturação do restante canal com guta-percha e NeoMTA 2) ou grupo 2 (Barreira apical de NeoMTA2 de 2mm e obturação do restante canal com guta-percha e NeoMTA 2). A capacidade de selamento apical do NeoMTA 2 foi avaliada através do teste de microinfiltração apical por corante. A seguir, todas as amostras foram submetidas à diafanização de maneira a observar a extensão da penetração do corante dentro do material obturador com a ajuda duma lupa binocular. Os resultados foram analisados estatisticamente no programa IBM SPSS Statistics (versão 23.0) com recurso ao teste ANOVA e post-hoc Tukey HSD. O nível de significância foi de $p \leq 0,05$.

Resultados: O grupo 2 foi o grupo que apresentou menor infiltração com um valor médio de 1.11mm, o grupo 1 apresentou valores médios de 1,57mm. Apesar das diferenças nos valores médios de cada grupo obturados com NeoMTA 2, estas não são estatisticamente significativas.

Conclusões: As espessuras das barreiras apicais testadas do cimento NeoMTA 2 não afectam a sua capacidade de selamento.

Palavras-chave: diafanização, teste de microinfiltração por corante, capacidade de selamento apical, NeoMTA 2

Abstract

Aim: As NeoMTA2 is a recently introduced bioceramic endodontic cement presented as a promising material for apexification, it is therefore justified to evaluate its apical sealing ability *in vitro* by using the apical barrier technique with two different thicknesses in teeth with open apices using the dye apical microleakage test and visualization thanks to diaphanization technique.

Material and methods: Thirty human single-rooted teeth were used, randomly distributed into two experimental groups (n=10) and two control groups (n=5). To standardize the sample, the teeth were instrumented to simulate an apex opened at a diameter of 0,80mm and then randomly distributed in two study groups according to the thickness of the apical barrier of the group 1 (4 mm NeoMTA 2 apical barrier and obturation of the remaining canal with gutta-percha and NeoMTA 2) and group 2 (2 mm NeoMTA 2 apical barrier and obturation of the remaining canal with gutta-percha and NeoMTA 2). The apical sealing ability of NeoMTA 2 was evaluated using a dye penetration microleakage test. All samples were then submitted to a diaphanization process in order to observe the extent of dye penetration into the obturation material with the aid of a binocular magnifying lens. The results were statistically analyzed using IBM SPSS Statistics software (version 23.0) with ANOVA and Tukey HSD post-hoc test. The level of significance was set at $p \leq 0.05$.

Results : Group 2 exhibited the lowest infiltration, with a mean value of 1.11 mm. Group 1 showed a mean value of 1.57 mm. Despite the differences in the mean values among the groups obturated with NeoMTA 2, these differences were not statistically significant.

Conclusion: The thicknesses of the apical barriers tested with NeoMTA 2 cement do not affect its sealing ability.

Key-words: diafanization, dye penetration microleakage test, apical sealing ability, NeoMTA 2.

Índice

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Fisiopatologia da doença pulpar	14
1.1.1. A origem bacteriana da infecção endodôntica	14
1.2. Diagnóstico em endodontia	18
1.2.1. Considerações gerais	19
1.2.2. Diagnóstico e patologias da polpa	20
1.3. Patologias periapicais	24
1.4. Dentes com ápices abertos	27
1.4.1. Etiologia	27
1.4.2. Tratamento de dentes com ápices abertos	28
1.4.2.1. A apexificação	30
1.4.2.2. Procedimentos de endodontia regenerativa	31
1.4.2.2.1. A revascularização	35
1.5. Materiais Biocerâmicos	36
1.5.1. Considerações gerais	36
1.5.2. MTA	41
1.5.3. Materiais biocerâmicos de segunda geração	43
1.5.4. Materiais biocerâmicos de terceira geração	45
1.6. Métodos de avaliação do selamento apical	46
1.6.1. Infiltração por penetração de corantes	46
1.6.2. Técnica de transparentação/diafanização	49
1.6.3. Método de filtração de fluídos	50
1.6.4. Migração bacteriana e de endotoxinas	50
1.6.5. Avaliação por meios radiográficos	52
1.6.6. Avaliação com o microscópio eletrônico de varrimento	53
1.6.7. Modelo <i>in vivo</i> : o modelo animal	54
2. OBJETIVOS E HIPÓTESES	57
2.1. Objetivo geral	57
2.2. Objetivos específicos	57
2.3. Hipóteses	57
3. MATERIAL E MÉTODO	59
3.1 Material usado	59
3.2 Metodologia	61
3.2.1. Aspectos Éticos	61
3.2.2. Descrição da amostra	61
3.2.3. Critérios de inclusão	62
3.2.4. Tratamento endodôntico	64
3.2.4.1. Padronização da amostra	64
3.2.4.2. Preparação químico-mecânica do canal	64
3.2.4.3. Abertura apical	67
3.2.4.4. Divisão dos Grupos experimentais	70
3.3. Teste de infiltração apical	77
3.3.1 Impermeabilização dos Remanescentes Radiculares	77
3.3.2 Montagem do Dispositivo para o teste de infiltração	78
3.4. Diafanização	80
3.5. Forma de Análise dos Resultados	83

4. RESULTADOS.....	84
5. DISCUSSÃO.....	86
6. CONCLUSÃO	92
7. BIBLIOGRAFIA.....	94

Índice de figuras

Figura 1 : Radiografias periapicais nos sentidos vestibulo-lingual (1a) e méso-distal (1b) do espécimen nº5 em posição vertical.

Figura 2 : Desbridamento da superfície radicular externa com curetas Gracey

Figura 3 : Frasco com tampa roscada para guardar as amostras no formol, cada frasco foi devidamente identificado com o número de referência de cada amostra

Figura 4 : Especímen nº1 após ser seccionado com o disco diamantado sobre a régua endodôntica mostrando a padronização de 12mm de comprimento radicular.

Figura 5 : Medição do comprimento de trabalho com uma lima manual K#10 inserida no canal até ultrapassar o ápex.

Figura 6 : Instrumentação dum espécimen com um micromotor e a lima mecânica F2 do sistema Protaper Gold

Figura 7 : Irrigação com hipoclorito de sódio a 5,25% com a ajuda dum agulha com abertura lateral

Figura 8 : Brocas de Peeso de tamanho 1 e de 28mm de comprimento

Figura 9 : Paralelização das paredes do canal dum espécimen com broca de Peeso montada num contra-ângulo

Figura 10 : Calibração da broca tronco-cônica diamantada com verniz transparente (a) colocando numa régua calibradora de guta-percha a broca na poço 80 (b) e aplicando uma camada espessa de verniz transparente na extremidade que não ia entrar no dente (c) de maneira a obter uma marca franca na broca na zona onde o diâmetro está de 80 (d).

Figura 11 : Preparação apical retrógrada dum espécimen com a broca tronco-cônica previamente calibrada a 80 montada numa turbina

Figura 12 : Radiografia depois da instrumentação do espécimen nº1 em posição anatómica

Figura 13 : Material de obturação utilizado.

Figura 14 : Preparação do cimento de acordo com as instruções do fabricante, uma medida de pó e 2 gotas de hidrogel.

Figura 15 : A textura ideal recomendada pelo fabricante pela realização de barreira apical devia ser arenosa, de maneira a conseguir criar uma bola maleável mas não colante

Figura 16 : Calibração do *plugger* em concordância com o tamanho das barreiras apicais a realizar com a ajuda dum régua endodôntica utilizando uma borracha de lima endodôntica manual para marcar o comprimento desejado

Figura 17 : Colocação do NeoMTA 2 com a ajuda dum *plugger* fino calibrado a boa medida

Figura 18 : Controlo radiográfico da barreira apical de 4mm do espécimen nº22 em posição

anatômica

Figura 19 : Radiografia com o cone principal do espécimen nº22 em posição anatômica

Figura 20 : Cone de gutta principal revestido com uma camada fina de cimento NeoMta2 em consistência de xarope

Figura 21 : Aquecimento do *plugger* para cortar o excesso de gutta percha (a) e utilização do *plugger* uma vez que ele esfriou-se para compactar verticalmente a gutta (b)

Figura 22 : Controlo radiográfico da qualidade da obturação do espécimen nº22 em posição anatômica

Figura 23 : Impermeabilização da extremidade coronal através da aplicação de adesivo Scotchbond universal em camada fina com uma microbrush (a) e recobrimento da dentina exposta com resina Flow após a fotopolimerização do adesivo (b)

Figura 24 : Todos os dentes foram dispostos numa folha de papel (a) e foram imobilizados com fita adesiva cobrando 2 mm da extremidade apical (a exceção do grupo de controlo negativo) controlando este valor com uma régua (b) e recobram-se os dentes com três camadas de verniz no comprimento restante do dente recobrando a totalmente a extremidade coronal de modo a obter uma espessa camada de verniz após secagem em toda esta superfície deixando livre os 2mm apicais recobertos por fita adesiva (c)

Figura 25 : Imersão dos dentes posicionados em posição vertical dentro de frascos identificados preenchidos com azul de metileno até recobrir inteiramente cada espécimen.

Figura 26 : Colocação das amostras na estufa parâmetrada para ter uma temperatura constante de 37°C, durante 3 dias tem se mantido o nível de corante suficiente de modo a recobrir inteiramente cada espécimen.

Figura 27 : Especimen logo após ser removido do corante com a ajuda duma pinça de observação

Figura 28 : Esquema recapitulativo do protocolo da diafanização

Figura 29 : Dispositivo de observação da amostra na lupa binocular

Figura 30 : Observação duma amostra à lupa binocular

Figura 31 : Medição dos resultados obtidos em cada grupo (o traço vermelho mede 12mm)

Figura 32 : Gráfico de caixa da repartição dos valores em cada grupo

Índice de tabelas

Tabela 1 : Repartição obtida dos espécímenes em função dos grupos com a ajuda de um *software online*

Tabela 2 : Tabela da repartição aleatória dos espécímenes do grupo controlo em função do grupo de controlo, negativo ou positivo, obtida com um *software online*

Tabela 3 : Resultados das medições da infiltração apical (em mm) para cada grupo e estudo da repartição dos valores

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

ANSI/ADA – *American National Standard Institute /American Dental Association* (Instituto Americano Nacional de Normalização / Associação Americana Dentária)

BHI – *Brain Heart Infusion* (Infusão coração cérebro)

CBCT - *Cone Beam Computerized Tomography* (Tomografia computadorizada de feixe cónico)

cm H₂O – centímetro de água

CSBS – *Calcium Silicate Based Sealers* (Cimentos baseados no silicato de cálcio)

DPA – *Double Paste antibiotics* (Pasta dupla de antibióticos)

EDTA - Ácido etilenodiaminotetracético

FOV – *Field Of View* (Campo de visão)

HA – Hidroxiapatite

IRM – *Intermediate Restorative Material* (Ionómero de vidro modificado por resina)

ISO – *International Organization for Standardization* (Instituto Americano Nacional de Normalização)

MTA – *Mineral Trioxide Aggregate* (Agregado de trióxido mineral)

mTPA – *modified Triple Paste antibiotics* (Pasta tripla de antibióticos modificada)

Micro-CT – *Micro-Computerized Tomography* (micro-tomografia computadorizada)

PER – Procedimentos de endodontia regenerativa

pH – Potencial de Hidrogénio

psi – *Pound-force per square inch* (libras por polegada quadrada)

TPA – *Triple paste antibiotic* (Pasta tripla de antibióticos modificada)

1. INTRODUÇÃO

O êxito do tratamento endodôntico depende da execução adequada de todas as suas etapas. Após um diagnóstico rigoroso baseado nas evidências clínicas e as queixas do paciente, pode ser necessário recorrer ao tratamento endodôntico. (1) Este tratamento consiste na desinfecção químico-mecânica através do uso de soluções irrigantes simultaneamente ao preparo dos canais com limas manuais e/ou mecânicas. Este passo permite a criação dum canal cônico e com superfície desprovida de irregularidade afim de facilitar uma obturação uniforme e de permitir ao cimento de fluir para apical alcançando uma área maior. (2,3) A obturação do canal radicular tem como objetivo preencher o espaço anteriormente ocupado pela polpa, sendo realizada após o preparo biomecânico e desinfecção apropriados do sistema de canais radiculares. (4) Esta fase do tratamento baseia-se em três princípios fundamentais: preenchimento, controle microbiológico e compatibilidade biológica. (4)

Entre os diversos requisitos de uma obturação endodôntica, a capacidade de selamento é crucial, pois impede a infiltração entre as paredes do canal radicular e o material obturador. (5) A infiltração pela via apical é considerada um dos principais fatores que comprometem o sucesso do tratamento endodôntico, assim como a infiltração coronária, que tem sido amplamente investigada. A infiltração coronária pode ocorrer devido à perda do material restaurador provisório, fraturas ou infiltrações na restauração coronária, além de cáries recorrentes. Esses fatores favorecem a exposição do material obturador aos fluidos e microrganismos presentes na cavidade oral. Além disso, destaca-se a importância de selar adequadamente os túbulos dentinários e as ramificações do sistema de canais radiculares, evitando a proliferação de microrganismos que possam ter sobrevivido à preparação químico-mecânica do canal.(6)

Que seja por variação anatômica ou por trauma durante o período de maturação da raiz, dentes podem permanecer com ápex aberto. (7,8) São dentes onde a anatomia radicular dificulta o tratamento endodôntico quando é preciso intervir por possuírem paredes de dentina finas e não ter stop apical.(8–10) Por isso destacam-se dois métodos que visam o selamento da parte apical da raiz e assim evitar fragilizar ainda mais o dente danificado. A apexificação visa a induzir um stop apical através da indução (geralmente pela substituição periódica da medicação intracanal com hidróxido de cálcio durante vários meses/anos) dessa barreira apical. Outra técnica reside na realização de uma barreira apical com um

material biocerâmico tipo MTA. Mais recentemente foram introduzidos os procedimentos endodônticos regenerativos, mais complexos, que visem a provocar a maturação apical e radicular em uma a três etapas, consoante a técnica, usando tecnologias inovadoras de “engenharia tecidual” como os *scaffolds*, células estaminais e factores de crescimento. (11)

Os materiais biocerâmicos são materiais que caracterizam-se por terem capacidade de induzir tecido ósseo, ser biocompatíveis, antimicrobianos e radioopacos. (4) A primeira geração é essencialmente constituída pelo agregado de trióxido mineral (MTA) e os seus equivalentes. Para solucionar as limitações deste material nomeadamente relativamente à dificuldade de manuseio, ao seu tempo de presa elevado e à discoloração constatada associada ao agente radioopacificante, tem surgido outras gerações de materiais mais performantes. (12) O NeoMTA 2 destaca-se pela sua polivalência e o seu tempo de presa reduzido em comparação à versão mais antiga do MTA. É um material que tem surgindo no mercado nos últimos anos, que está descrito em alguns estudos como sendo promissor e com eficácia nas apexificações. (13)

Para avaliar o selamento apical destacam-se várias técnicas. Na literatura, a técnica de infiltração de corante é a mais utilizada e mais aceite por ser de baixo custo e de fácil realização. Após a imersão numa solução corada durante um período definido de tempo, a penetração do corante é medida em cortes que podem ser transversais ou longitudinais da raiz sendem as primeiras mais fiáveis à realidade. Apesar de fornecer resultados quantificáveis, é um processo que exige a destruição da amostra para medir a infiltração efetiva. Sem destruir os dentes, pode ser realizada uma diafanização, ou seja um processo de demineralização, desidratação e clareamento que torna o dente corado transparente e assim permite visualizar tridimensionalmente a anatomia canalar e o trajeto da infiltração de corante na obturação. É um método fiável e que permite observar com precisão a infiltração apical na amostra.(14,15)

Neste sentido, este estudo *in vitro* visa à avaliar a capacidade de selamento apical promovida por este cimento em barreiras apicais de NeoMTA 2 em dentes com apex abertos.

1.1. Fisiopatologia da doença pulpar

1.1.1. A origem bacteriana da infeção endodôntica

O órgão pulpo-dentinário é normalmente estéril, estando protegido das bactérias da cavidade oral pelo esmalte e pelo cimento. Quando uma destas camadas está comprometida, seja por cárie, trauma, tratamento dentário, lesão periodontal ou defeito anatómico, a polpa pode entrar em contacto com bactérias presentes na saliva, placa e biofilme subgengival. Estes microorganismos podem passar pelos túbulos dentinários ou forâmens, especialmente a nível cervical da raiz. Além disso, os microorganismos podem também invadir o espaço pulpar durante ou após o tratamento endodôntico, sublinhando a importância da assepsia estrita e de um selamento apical hermético para prevenir novas infeções.(16–18)

A patogenicidade refere-se à capacidade de um microorganismo causar doenças. Uma das estratégias que contribuem para essa capacidade é a formação de biofilmes, que oferecem proteção contra as defesas do hospedeiro, competidores microbianos e agentes antimicrobianos. Biofilmes são comunidades microbianas multicelulares aderidas a uma superfície e incluídos numa matriz extracelular, composta principalmente por polissacarídeos, além de proteínas e ácidos nucleicos.(16)

A formação de biofilmes é considerada como sendo um fator de virulência, estando associada a aproximadamente 65% a 80% das infeções bacterianas em humanos nos países desenvolvidos. No ambiente oral, os biofilmes dentários podem atingir mais de 300 camadas celulares. (16)

A evidência sobre a associação entre biofilmes bacterianos e a periodontite apical foi apresentada num estudo histobacteriológico realizado por Ricucci e Siqueira em 2010.(19) Os autores investigaram a presença de biofilmes no sistema de canais radiculares apicais de dentes extraídos. Foram incluídos espécimes correspondentes a dentes clinicamente íntegros, dentes não tratados com lesões de cárie de diferentes gravidades (desde cáries superficiais até profundas, incluindo aquelas com envolvimento pulpar) ou com restaurações coronárias em diversos materiais. Incluíram-se ainda dentes não tratados com lesões de periodontite apical associadas, dentes não tratados afetados por diferentes estágios de doença apical, dentes extraídos após procedimentos de desinfecção químico-mecânica realizados por diferentes técnicas, dentes com tratamento endodôntico após períodos prolongados de seguimento, bem como dentes submetidos a cirurgia apical que

apresentavam patologia pós-tratamento. Para além disso, os autores também analisaram a relação entre os biofilmes, a histopatologia e as condições clínicas, tendo concluído que :

- A morfologia dos biofilmes endodônticos variava entre os indivíduos, em aspectos como espessura, tipos morfológicos das bactérias e proporção entre células bacterianas e matriz extracelular.(16,19)
- Os biofilmes intrarradiculares foram observados, em geral, no segmento apical de aproximadamente 80% dos canais radiculares de dentes com periodontite apical primária ou pós-tratamento.(16,19)
- As células bacterianas foram frequentemente encontradas invadindo túbulos dentinários sob a base dos biofilmes.(16,19)
- Os biofilmes também foram comumente detectados recobrimo as paredes de ramificações apicais, canais laterais e istmos.(16,19)
- Os biofilmes extrarradiculares foram raros, presentes em apenas 6% dos casos, e, com exceção de um único caso, sempre associados à presença de biofilmes intrarradiculares. Todos os casos com biofilme extrarradicular apresentavam sintomas clínicos.(16,19)
- A presença de biofilmes bacterianos foi mais frequente em canais radiculares de dentes com lesões periapicais extensas. Como essas lesões levam tempo para se desenvolver e se tornarem visíveis radiograficamente, é possível afirmar que representam um processo patológico antigo. Nesse contexto, os microorganismos envolvidos teriam tido tempo suficiente para se adaptar ao ambiente e formar comunidades maduras e organizadas em biofilme. Esse fato pode explicar por que o tamanho da lesão influencia nos resultados do tratamento.(16,19)
- As taxas de prevalência de biofilmes intrarradiculares em dentes com quistos apicais, abscessos e granulomas foram de 95%, 83% e 69,5%, respectivamente. Os biofilmes mostraram uma associação significativa com lesões epitelizadas. Considerando que os quistos apicais desenvolvem-se a partir da proliferação epitelial em alguns granulomas, pode-se presumir que quanto mais antiga a lesão,

maior a chance de ela evoluir para um quisto, o que também explicaria a alta prevalência de biofilmes nesses casos.(16,19)

- Por fim, foram observadas bactérias no lúmen do canal principal, em ramificações e istmos, na forma de flocos e células planctônicas, misturadas a tecido pulpar necrótico ou suspensas em meio líquido. Esses flocos bacterianos, por vezes, são considerados "biofilmes planctônicos" e podem ter origem na agregação celular em suspensão ou no destacamento de biofilmes aderidos. (16,19)

A microbiota endodôntica é altamente diversificada, incluindo mais de 460 grupos taxonômicos. Dentro dos microorganismos patogênicos comumente isolados de lesões apicais persistentes, infecções secundárias e lesões periodontais destacam-se *Enterococcus faecalis* e *Parvimonas micra*. (18)

E. faecalis é particularmente resistente, com capacidade de penetrar profundamente nos túbulos dentinários, de sobreviver por longos períodos em ambientes com escassez de nutrientes e formar biofilmes no sistema de canais radiculares. Devido à complexidade anatômica dos canais, os biofilmes podem persistir mesmo após a instrumentação e irrigação completas. Essa resistência é potencializada pela proteção conferida pelos biofilmes, dificultando a eliminação da bactéria com desinfetantes e antibióticos convencionais. Além disso, a presença de biofilmes pode desencadear respostas inflamatórias nos tecidos periapicais, reforçando a necessidade do uso de agentes desinfetantes suplementares eficazes no controle de *E. faecalis* em infecções endodônticas.(18)

Parvimonas micra é uma bactéria Gram-positiva, anaeróbia obrigatória e de pequeno tamanho (0,3–0,7 μm), frequentemente observada em pares ou cadeias celulares. Esse microorganismo tem sido identificado em câmaras pulpares de dentes sem lesão de cárie com polpas necróticas, em infecções endodônticas primárias com flora mista, na região apical de raízes de dentes extraídos e em canais radiculares. Esses achados indicam que *P. micra* é capaz de invadir o sistema de canais radiculares por via periodontal, sendo considerada um patógeno relevante em infecções endodônticas primárias e frequentemente isolada de tecidos pulpares inflamados.(18)

A infiltração bacteriana é uma das principais fontes de insucesso do tratamento endodôntico estando fortemente associada ao desenvolvimento de infecções periapicais e à falência do selamento apical. (20) Mesmo após um tratamento bem realizado, a reinfeção do espaço tratado devido a permanência de microorganismos e dos seus subprodutos pode acontecer por várias razões, nomeadamente pelo facto de a anatomia complexa do órgão pulpo-dentinário como canais laterais, istmos e túbulos dentinários, que oferecem ambientes favoráveis para a persistência microbiana após a desinfecção convencional. Assim, é de notar que a instrumentação mecânica, por si só, é insuficiente para eliminar completamente os microorganismos do sistema de canais radiculares.(17)

Deste modo, a prevenção da infiltração bacteriana e dos seus subprodutos é um ponto fulcral para garantir o sucesso a longo prazo do tratamento endodôntico. Algumas das principais estratégias incluem:

- O uso de cimentos endodônticos adequados : a escolha de materiais obturadores com boa capacidade de vedação é essencial para evitar a infiltração de bactérias. Cimentos bioativos, como o MTA, têm mostrado bons resultados na prevenção da infiltração bacteriana, promovendo ainda a regeneração dos tecidos periapicais (16);
- A aplicação de técnicas de obturação adequadas : A correta instrumentação do sistema de canais e a utilização de técnicas eficazes de obturação, como a compactação lateral ou o uso de sistemas de obturação termoplásticos, são fundamentais para assegurar um selamento hermético (3,21) ;
- Desinfecção adequada : o uso de soluções antimicrobianas e a irrigação eficaz durante o tratamento são cruciais para a eliminação de bactérias do sistema de canais, por forma a minimizar o risco de reinfeção (2) ;
- Monitoramento pós-tratamento: o acompanhamento contínuo do paciente após o tratamento endodôntico, com observação clínica e radiográfica de *follow-up*, é importante para detectar precocemente qualquer sinal de reinfeção ou falha no tratamento. (16)

1.2. Diagnóstico em endodontia

1.2.1. Considerações gerais

O diagnóstico endodôntico tem como objectivo determinar a condição da polpa de um dente e dos tecidos periapicais circundantes e aferir acerca da necessidade e possibilidade de realizar o tratamento endodôntico, fazendo o cruzamento dos dados coletados durante a anamnese, o exame clínico e a observação de meios complementares de diagnóstico. (1,23)

Em primeiro lugar, a história clínica geral deve excluir a possibilidade de causas não odontogênicas de doença e/ou dor. Por exemplo, a sinusite pode levar a dor de dente dos dentes posteriores do maxilar superior, um ataque cardíaco pode causar dor na mandíbula e um ataque iminente de herpes zoster pode levar a queixas supostamente pulpíticas em dentes individuais. Naturalmente, a recolha da história clínica geral serve também para descobrir a tratabilidade dos pacientes e, por exemplo, para esclarecer a necessidade de profilaxia antibiótica. Com base na história clínica, pode determinar-se se foram recentemente realizados tratamentos dentários, como sejam restaurações e pontes, entre outros.... (1,22)

A dor, quando odontogénica, pode originar-se de três estruturas : do periodonto marginal, dos tecidos periapicais ou da polpa. O endodontista deve procurar avaliar todas estas estruturas e avaliar a dor na sua intensidade, duração e factores desencadeantes. (1,22)

A realização de exames radiográficos desempenha também um papel essencial no estabelecimento de um diagnóstico e prognóstico em endodontia. Antes de realizar qualquer tratamento, deve-se obter imagens radiográficas recentes e bem executadas que servem para orientar o endodontista de forma segura.(1) Além disso, as radiografias podem ser úteis para identificar as características do dente a tratar, como o número de canais existentes, a existência ou não de calcificações e outras peculiaridades da anatomia canal.(1) Em endodontia, o raio-x periapical é o mais usado na prática clínica. Este exame fornece informações valiosas acerca da anatomia dentária e das estruturas periapicais. Uma zona radiotransparente ao redor da raiz pode indicar uma infecção apical, podendo a origem da infecção estar associada a um canal principal, lateral ou acessório. (1)

Normalmente, preconizam-se duas angulações diferentes para avaliar uma situação, exceptuando casos mais complexos. As imagens iniciais servem como ponto de referência

para a futura monitorização. Para obter uma melhor reprodutibilidade e no âmbito de padronizar as imagens obtidas (e assim permitir a comparação entre elas), o uso de paralelizadores específicos é recomendado.(16,23)

Contudo, e apesar da sua utilidade, a radiografia periapical é uma técnica bidimensional e, portanto, limitada para avaliar estruturas que são por natureza tridimensionais. Neste sentido, o uso de radiografias bidimensionais pode dificultar a análise da qualidade de uma obturação pré-existente nomeadamente na identificação de falhas ou de preenchimentos incompletos. Nestas situações, pode ser indicada uma tomografia computadorizada de feixe cónico (*cone beam computed tomography*, CBCT) que oferece imagens tridimensionais, mais precisas e detalhadas. Importa salientar que o CBCT não é indicado para exames de rotina, sendo reservado para casos bem específicos como a deteção de canais acessórios ou variações anatómicas, a avaliação de lesões periapicais invisíveis em radiografias convencionais ou na suspeita de perfurações, fraturas ou reabsorções radiculares. (1,24) Nessas circunstâncias, deve optar-se por um campo de visão (*field of view* - FOV) reduzido, adaptado à área de interesse, por forma a reduzir a exposição do paciente à radiação e aumentar a resolução. No entanto, é importante tomar em conta que o CBCT pode dar-nos uma impressão falsa de fratura causada por artefactos dos materiais metálicos de obturação usados.(24)

Consequentemente, os exames radiográficos são usados como adjuvantes em combinação com a história clínica e o exame clínico para chegar ao diagnóstico final. Não têm valor decisivo sem exame físico do doente nem a rigorosa anamnese dele.(24) No entanto, radiografias devem ser justificadas clinicamente e otimizadas de maneira a evitar exposições desnecessárias às radiações.(16,23)

1.2.2. Diagnóstico e patologias da polpa

Podemos considerar seis cenários possíveis no diagnóstico pulpar : polpa saudável (ou assintomática), pulpite reversível, pulpite irreversível, necrose pulpar, dente com tratamento endodôntico realizado e dente com tratamento endodôntico iniciado. (1)

O diagnóstico pulpar pode ser feito com testes de sensibilidade que avaliam a resposta do dente a estímulos térmicos (frio e quente) e a um estímulo elétrico. Estes testes são

considerados como altamente sensíveis na avaliação do estado da polpa do dente, pelo que a probabilidade de obter falsos positivos é relativamente baixa. Se a utilização dos testes de sensibilidade não permitir obter uma resposta suficientemente clara pode realizar-se o teste cavitário, útil sobretudo em casos de doença periodontal, ou de trauma oclusal onde tem tendência a dar falsos positivos. É importante entender que a sensibilidade de um dente se refere à atividade neural, mas não à existência ou não de fornecimento sanguíneo, pelo que estes testes podem ser irrelevantes em casos de dentes imaturos devido à falta de resposta nervosa ou indiferenciação das fibras A-delta nestes casos. (22,23)

A perda temporária de sensibilidade é um achado frequente em dentes cicatrizando após um traumatismo, especialmente se se tratar de uma luxação. Assim, a ausência de resposta aos testes de sensibilidade não é conclusiva de necrose dentária em dentes que sofreram de traumatismo. Neste sentido, o uso da oximetria de pulso, que mede o fluxo sanguíneo e não a resposta neural, foi demonstrada como sendo uma maneira fiável e não-invasiva para confirmar se existe fornecimento sanguíneo e, assim, vitalidade pulpar. Contudo, atualmente, esta técnica é de aplicação limitada do uso de sensores especificamente adaptados à dimensão dos dentes avaliados e à falta de potência para penetrar nos tecidos dentários duros destes dispositivos. É também importante de mencionar que a fotometria de fluxo a laser e o ultrassom Doppler são tecnologias promissoras para monitorizar a vitalidade da polpa mas que não são usados na prática rotineira em medicina dentária.(22,23)

Na presença de estímulo (frio por exemplo), por exemplo, a polpa sã, na ausência de processo inflamatório, tem a capacidade de sofrer de vasoconstrição, levando a que a pressão interna diminua e surja a dor de modo imediato, sendo o teste considerado positivo. Por norma, a resposta imediata ocorre num período entre 3 a 5 segundos após ter entrado em contacto com o estímulo e a sensação desaparece logo após a remoção do mesmo (fibras A). Numa polpa onde existe um processo inflamatório, dá-se vasodilatação, que faz com que exista pressão contras as paredes duras do dente, podendo existir dor espontânea... Aquando da realização dos testes de sensibilidade haverá vasoconstrição, que diminuirá a pressão interna, o que pode aliviar a dor ou provocar uma exacerbação da mesma. A resposta ao estímulo é mais demorada uma vez que é mediada pelas fibras tipo C que são

fibras de localização mais profunda, e donde a activação orienta o clínico para um dano pulpar mais profundo. Em situações de inflamação pulpar, o tempo de resposta ao estímulo pode ser ou inferior ao normal, ou superior assim como a duração da resposta dolorosa, que pode permanecer mesmo após a eliminação do estímulo. (16)

A polpa sã, clinicamente, não provoca sintomas e responde normalmente aos testes de sensibilidade. Dentes com polpa livre de inflamação não demonstram nenhuma dor espontânea. A resposta ao estímulo desencadeada pelo teste de sensibilidade é leve e para logo após a remoção do mesmo sem causar ao paciente nenhum incómodo. (16)

Radiograficamente, pode existir um grau variável de calcificações visíveis na câmara pulpar, mas não deverá existir evidência de reabsorção radicular nem de cáries ou exposição da polpa. Para estes dentes não é indicado qualquer tratamento endodôntico. (16)

Quando a resposta aos testes de sensibilidade é exacerbada, é sinal que está a acontecer um processo inflamatório. O dente encontra-se em pulpíte, que poderá ser clinicamente reversível ou irreversível e histologicamente aguda, crónica ou hiperplásica. (16)

O diagnóstico clínico da pulpíte reversível é baseado nos sinais objetivos observados pelo clínico e sintomas subjetivos relatos por parte do paciente que indicam que a inflamação pode resolver-se e que a polpa pode voltar ao seu estado normal. Quando a polpa está irritada, o paciente pode sofrer desconforto ao estímulo, mas esta sensação desaparece rapidamente após a remoção do mesmo. Nestas situações, o tratamento consiste na remoção do irritante (pode ser o tratamento da cárie ou do trauma oclusal) que normalmente leva à resolução dos sintomas. (16)

À medida que a patologia pulpar progride, a inflamação do tecido pode evoluir para uma condição conhecida como pulpíte irreversível, situação em que a polpa dentária vital se encontra danificada e sem capacidade de regeneração. Nestes casos, o tratamento endodôntico torna-se necessário para remover o tecido comprometido. A pulpíte irreversível pode ser classificada em duas formas clínicas distintas : sintomática e assintomática. Na pulpíte irreversível sintomática, o diagnóstico baseia-se nos sinais e sintomas que indicam a impossibilidade de recuperação pulpar. Os doentes geralmente relatam dor espontânea ou intermitente, frequentemente desencadeada por estímulos térmicos, sobretudo o frio. Essa dor tende a ser intensa e prolongada, persistindo mesmo

após a remoção do estímulo. As manifestações dolorosas podem variar entre dor aguda ou surda, localizada ou difusa, e até mesmo referida por outras regiões. Radiograficamente, nos estágios iniciais, alterações podem ser difíceis de visualizar ; porém, em casos avançados, observa-se o espessamento do ligamento periodontal e/ou sinais de irritação pulpar como calcificações na câmara pulpar ou nos canais radiculares. As causas mais comuns incluem cáries profundas, restaurações extensas, exposições pulpares ou agressões diretas ou indiretas da polpa recentes ou que ocorreram no passado. Se não for tratada essa condição evoluirá para um situação de necrose pulpar. (16)

A pulpíte irreversível assintomática é diagnosticada clinicamente da mesma forma, com base em sinais objetivos de inflamação irreversível da polpa sem que o paciente relata sintomas. Frequentemente esta condição é associada a cáries profundas, pode não provocar dor, apesar da lesão se estender até a polpa do dente. Nesses casos é crucial realizar o tratamento endodôntico o mais cedo possível no sentido de prevenir a progressão para uma pulpíte sintomática ou necrose nas quais pode ocorrer dor intensa e desconforto significativo para o paciente. (16)

A necrose pulpar faz referência à morte da polpa dentária, sendo geralmente caracterizada pela ausência de resposta aos testes de sensibilidade pulpar. Nesta condição, há o suprimimento sanguíneo e a perda de atividade das fibras nervosas da polpa. A necrose pulpar é a única classificação clínica que reflete diretamente o estado histológico da polpa, ou a sua ausência, e costuma ser uma consequência de uma pulpíte irreversível, seja ela sintomática ou assintomática. Inicialmente, o dente com necrose pode permanecer assintomático, até que o processo infeccioso se estenda pelos tecidos periapicais, podendo o paciente, posteriormente, apresentar dor à percussão ou dor espontânea, associada à proliferação microbiana no interior do canal radicular, cujos subprodutos podem atingir o ligamento periodontal. Radiograficamente, podem surgir sinais como espessamento do espaço do ligamento periodontal ou lesões radiotransparentes ao redor da raiz. Embora o dente necrosado não responde aos testes de sensibilidade ao frio nem ao elétrico, em alguns casos, a aplicação prolongada de calor pode desencadear dor. Essa resposta é atribuída à expansão de gases ou fluidos remanescentes no interior do canal, que pressionam os tecidos periapicais. (16)

A necrose pode ser parcial ou completa, especialmente em dentes pluri radiculares, o que pode gerar sintomas clínicos confusos. Por exemplo, um canal pode responder positivamente aos testes, enquanto outro responde negativamente, podendo inclusive simular uma pulpite irreversível. Além disso, na ausência de lesões de cárie, restaurações ou traumas evidentes, a necrose pode estar associada a fraturas longitudinais que se estendem da superfície oclusal até a polpa. Por fim, dentes com necrose podem apresentar hipersensibilidade ao calor, inclusive à temperatura natural da cavidade oral, com alívio sintomático ao contato com frio, o que pode tornar-se útil no diagnóstico diferencial e para localizar o dente afetado especialmente quando a dor é difusa. (16)

A categoria “anteriormente tratado” refere-se a dentes que já passaram por tratamento endodôntico, tendo os seus canais radiculares obturados por materiais obturadores (exceto medicações intracanales). Nesta situação, o dente geralmente não apresenta tecido pulpar ou necrótico, o que justifica a ausência de resposta aos testes de sensibilidade pulpar. Caso exista falha do tratamento, o paciente pode ou não apresentar sinais ou sintomas clínicos, e poderá ser necessário realizar procedimentos endodônticos adicionais, cirúrgicos ou não cirúrgicos, para manter o dente em função. (16)

A última categoria é “dente com tratamento previamente iniciado” que faz referência a um dente que passou por algum tipo de tratamento endodôntico parcial (pulpotomia ou pulpectomia) ou cujo tratamento endodôntico teve início, mas nunca foi finalizado. Os tratamentos endodônticos parciais costumam ser realizados em emergência, especialmente em casos de pulpites irreversíveis sintomáticas ou assintomáticas. Também podem ser associadas a terapias conservadoras da polpa, lesões traumáticas, ou tratamentos de indução de formação radicular. Quando os pacientes submetidos a essas terapias voltam para finalização do tratamento não é sempre possível chegar a um diagnóstico pulpar preciso, pois o tecido pulpar já foi parcialmente ou totalmente removido. (16)

1.3. Patologias periapicais

Quando há dor associada a um dente, deve-se sempre avaliar os tecidos circundantes. (16) Em relação ao diagnóstico periapical, podem distinguir-se oito hipóteses: tecidos apicais normais, hipersensibilidade apical, periodontite apical localizada sintomática, periodontite apical localizada assintomática, periodontite apical localizada com fístula, periodontite

apical localizada com envolvimento sintomático, tecido apical em cicatrização e condição apical inconclusiva. (25)

Quando os tecidos apicais estiverem normais, quer dizer que estejam numa situação de referência, o paciente tipicamente encontra-se assintomático, com respostas normais aos testes de percussão e de palpação. Radiograficamente, observa-se lâmina dura íntegra e espaço do ligamento periodontal preservado ao redor de todas as raízes. (16,25)

Numa periodontite apical, há uma inflamação do periodonto, especificamente localizada na região apical onde neutrófilos são recrutados para a zona afetada por quimiotaxia. Estes neutrófilos atacam e eliminam os microorganismos patogénicos, libertando leucotrienos e prostaglandinas que, por sua vez, atraem mais neutrófilos e macrófagos para o local da infeção. Os macrófagos ativados libertam citocinas adicionais que intensificam a resposta vascular e promovem a reabsorção óssea osteoclástica. Nesta fase, a infeção aguda pode seguir diferentes caminhos : resolução ou agravamento. (26)

Essa condição está subdividida em duas subcategorias clínicas, podendo ser assintomática ou sintomática. Nesta fase, pode ser localizada, drenar-se para o exterior através dum sinus ou acabar por ter um envolvimento sistémico. (16,25)

A periodontite apical assintomática é uma condição inflamatória resultante da destruição do periodonto apical, na qual o paciente não apresenta sintomas clínicos evidentes.

Tipicamente, o dente não responde aos testes de sensibilidade pulpar, mas apresenta uma zona radiotransparente nos exames radiográficos. Embora geralmente não haja dor à mastigação, o paciente pode referir uma sensação diferente ao toque mesmo. (16)

A periodontite apical sintomática é caracterizada por inflamação do periodonto apical acompanhada de sintomas clínicos como dor à mastigação, sensação de “dente alto”, dor à percussão ou à palpação. Pode estar ou não associada a uma área radiolúcida apical visível radiograficamente. Além disso, costuma observar-se um alargamento do espaço do ligamento periodontal, com ou sem presença de lesão apical evidente, especialmente nas lesões no estágio inicial que frequentemente são de difícil identificação nas periapicais por serem limitadas ao ligamento periodontal. O dente pode apresentar resposta variável aos testes de sensibilidade pulpar. (16,25,26)

Quando se remove o estímulo lesivo, segundo a causa identificada, a lesão pode regredir e os tecidos periapicais retomar a sua aparência normal radiograficamente. (26) Assim, o tecido periapical em cicatrização caracteriza-se pela ausência de dor à percussão e ao toque num dente anteriormente tratado. Radiograficamente, traduz-se pela redução da zona radiotransparente observada numa sessão passada, pode ainda se ver uma zona radiotransparente na imagem mas esta deve ter reduzido em tamanho relativamente às radiografias ulteriores. No CBCT, pode se notar um início de formação de osso trabecular e a aumentação da densidade óssea ao redor do ápex. (25)

Por outro lado, se a infeção não for resolvida, poderá tornar-se crónica. Estas lesões podem propagar-se através do osso por outros espaços fasciais, originando abscessos ou formando fístulas com abertura para o exterior.(25,26)

Nestes casos, o paciente pode não referir sintomatologia nenhuma ou só apresentar uma dor moderada ao estímulo mecânico (ao fazer pressão em máxima intercuspidação por exemplo). No exame clínico pode existir uma zona inchada/ um "botão" no tecido mole adjacente ou extraoral. Radiograficamente, pode se observar uma zona radiotranslúcida periradicular ou zonas de baixa densidade óssea no CBCT que se estendem de vestibular para a lingual/palatino e em alguns casos poderá se reparar o traço duma fístula de drenagem do abscesso.(16,25)

Em alguns casos, a infeção não fica localizada e poderá chegar ao envolvimento sistémico. É uma reação inflamatória intensa decorrente da infeção da polpa ou dos tecidos periradiculares, de início súbito, clinicamente o paciente apresenta sinais bem definidos de infeção sistémica como calor, febre, edema facial, comumente associada à gânglios cervical e/ou submandibular de tamanho aumentado que pode se traduzir por uma assimetria facial. Esta condição é de origem pulpar, assim clinicamente, a polpa ou a zona periradicular é inflamada. O paciente pode referir a presença de dor espontânea severa, sensibilidade à pressão, formação de pus e edema nos tecidos adjacentes. O dente apresenta-se extremamente sensível à percussão e à palpação, não responde aos testes de sensibilidade pulpar, e pode haver mobilidade aumentada. Radiograficamente, pode observar-se o alargamento do ligamento periodontal e lesão apical radiotransparente associada à baixa densidade da área no CBCT.(16,25)

Em alguns casos não se consegue determinar um diagnóstico após os testes de sensibilidade. Geralmente o paciente não apresenta nenhuma queixa aos testes de percussão nem à palpação mas radiograficamente é difícil chegar a uma conclusão certa. Assim pode apresentar nos raio-x uma zona radiotransparente a apical da raiz ou áreas com menor densidade no CBCT ao redor do ápex mesmo se clinicamente a polpa está “normal”. Pode se tratar de quistos de origem não odontogénica por exemplo. Noutra situação onde o diagnóstico pode ser difícil é quando o dente já foi endodonticamente tratado mas que estão presentes zona radiotransparentes/baixa densidade a nível do ápex na imagiologia ou que em comparação não existe modificação do tamanho da lesão após meses de seguimento pós-operatório. Em todos estes casos onde os testes de sensibilidade e de palpação/percussão não levaram à nenhuma conclusão mas onde existe suspeição de lesão apical é necessário monitorizar periodicamente para detetar alguma variação no osso circundante.(25)

1.4. Dentes com ápices abertos

1.4.1. Etiologia

O traumatismo dentário é uma ocorrência frequente em todas as faixas etárias ; pode afetar tanto a dentição decídua como a permanente, com taxas de incidência reportadas entre 11% e 30 % para os dentes decíduos e entre 2,6% e 50 % para os dentes permanentes. Em função dos estudos, entre 15% até cerca de um terço das crianças em idade pré-escolar sofre traumatismos na dentição decídua, enquanto aproximadamente um quarto das crianças em idade escolar e quase um terço dos adultos apresentam este tipo de lesão na dentição permanente. (27,28) A localização dos dentes afetados apresentou uma distribuição simétrica em ambas as dentições sendo o traumatismo mais comum os incisivos centrais superiores em comparação com os molares que têm menos probabilidade de ser afetados.(28) O traumatismo dentário pode levar à necrose pulpar, podendo parar a normal maturação radicular se ocorrer dentro dos primeiros três anos após a erupção dentária, deixando a raiz imatura com o ápex aberto, o canal radicular largo e paredes finas da dentina radicular. (7,8) Outras causas de paragem da maturação radicular podem ser alterações significativas na microcirculação sanguínea pulpar, por irritação do tecido pulpar por lesão química ou térmica. (11)

Podem também existir anomalias do desenvolvimento do dente que levam à falha da maturação da raiz. A segunda causa de ápices abertos é o *dens evaginatus* que é uma anomalia dentária pouco comum, caracterizada pela formação de uma cúspide acessória que pode manifestar-se tanto nos dentes anteriores como nos posteriores. Primariamente descrita por Mitchell em 1892, foi mais documentada a partir de 1925. Nestes dentes, verifica-se a presença de material dentário adicional, que se apresenta sob a forma de um tubérculo, cúspide, extrusão ou saliência que ultrapassa a estrutura dentária adjacente. Este tecido dentário “há mais” é constituído por um núcleo de dentina revestido por uma fina camada de esmalte. O tubérculo contém frequentemente tecido pulpar, que pode estender-se em diferentes comprimentos ao longo do núcleo dentinário. Além disso, os dentes com *dens evaginatus* são regularmente associadas à raízes imaturas e ápices abertos (29)

Estas projeções em forma de cúspide, presentes nos dentes afetados por *dens evaginatus*, têm uma relevância clínica significativa, especialmente no âmbito da endodontia. A fratura ou o desgaste dos tubérculos, resultantes de má oclusão ou trauma, podem provocar exposição pulpar, infecção e necrose pouco tempo após a erupção dentária, exigindo frequentemente intervenção endodôntica.(29)

Os dentes com ápices abertos classificam-se em duas categorias :

- Os dentes com ápices tipo *blunderbuss* nos quais as paredes são divergentes e possuem um formato em funil (isto é, possuem um canal mais largo no ápex do que na entrada coronária). É o que apresenta maior dificuldade para ser tratado ; (11)
- Os dentes com ápices tipo *não-blunderbuss* que possuem paredes paralelas ou ligeiramente divergentes e nos quais, a geometria , por ser mais convergente, pode ser vista como mais vantajosa. (11)

1.4.2. Tratamento de dentes com ápices abertos

A gestão de dentes com ápice aberto é considerada desafiante pelos endodontistas por causa do ápex aberto, anatomia que favorece o extravasamento da solução irrigante e/ou do cimento para os tecidos periapicais, tendo um efeito negativo sobre o processo de cicatrização apical (30,31), e das paredes em dentina finas e friáveis. (8,11,32) Para além disso, como a preparação mecânica do canal radicular em dentes com ápice aberto

geralmente é limitada para preservação da dentina radicular, a desinfecção do canal radicular depende do uso de irrigantes antibacterianos, técnicas de irrigação suplementares, e de medicamentos intracanales. Adicionalmente, e devido à falta de constrição apical, a determinação do comprimento de trabalho usando um localizador eletrônico de ápex geralmente não é fiável. (8)

Assim, a obturação convencional destes dentes torna-se difícil, sendo impossível usar as paredes do ápex para compactar o material de obturação (8,9), ficando o dente mais suscetível a fraturas (10). Além disso, é de lembrar que o tratamento endodôntico tradicional não promove o desenvolvimento radicular.(31)

A *American Association of Endodontists* descreve as terapias de polpa vital como “tratamentos que visam a preservar e manter o tecido pulpar comprometido por trauma, cáries ou tratamentos restauradores”. (33) Neste sentido, as terapias da polpa vital envolvem a proteção pulpar direta e indireta e pulpotomia parcial ou total. O sucesso destes procedimentos depende do diagnóstico, do estágio da inflamação como da seleção do material usado. (32)

Nesse sentido, se for indicado realizar o tratamento endodôntico de um dente imaturo, este deverá procurar corresponder aos pontos seguintes (16):

- O procedimento deve ter um tempo de tratamento curto e o menor número de consultas possível ;
- Deverá procurar fornecer um desbridamento eficaz do canal radicular sem enfraquecer a estrutura dentária ;
- Idealmente, não levará a complicações pós-operatórias ;
- Permitirá manter o dente em função ;
- Oferecerá resultados previsíveis a longo prazo.

Têm sido desenvolvidas diferentes técnicas para evitar o *overfilling* e permitir a formação de tecidos duros apicais, que vão permitir fechar o ápex. As opções de tratamento mais usadas hoje em dia incluem a apexificação e a revascularização. (10)

1.4.2.1. A apexificação

Antigamente, a apexificação consistia em múltiplas aplicações a longo prazo de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) para induzir a formação apical de tecidos duros. (8,31) Os estudos mostram que após este procedimento existe formação apical contínua pela deposição de tecidos duros apicais, e que o dente permanece assintomático com sinais radiográficos de fechamento do foramen apical. (34,35) A vantagem principal desta técnica é a excelente desinfecção do canal com o pH alto do Ca(OH)_2 . (31) Este tratamento, com uma taxa de sucesso entre os 74% e 100% em função das fontes (36). permite a indução da formação de uma barreira mineralizada no ápice, possibilitando a obturação do canal, mas não substitui ou regenera a estrutura dentária já danificada. (31)

No entanto este método requer múltiplas radiografias e consultas, podendo ser necessários 9 a 24 meses de tratamento o que pode levar à perda de assiduidade por parte dos paciente, e está associado com complicações como fratura radicular (28%-77%) uma vez que o Ca(OH)_2 pode enfraquecer a estrutura dentária, especialmente em estágios iniciais de desenvolvimento, e consequentemente à fraturas cervicais.(31)

A técnica de barreira apical artificial tem sido proposta como alternativa à apexificação a longo prazo do hidróxido de cálcio. (31) Esta técnica é descrita como a criação de uma parede apical artificial por compactação não cirúrgica de um material biocompatível na extremidade apical do canal radicular; permitindo, assim, o preenchimento do canal radicular. O uso destes materiais permite tratar o dente numa única consulta. (31) Para o efeito, os materiais mais utilizados usados nesta técnica são o MTA (*Mineral Trioxide Aggregate*) e o Biodentine (*Septodont*, Saint-Maur-des-Fossés, França). (31)

A barreira em MTA fornece um selo apical que impede a extrusão de guta-percha/selador e induz a formação de tecido mineralizado. Nesta técnica, o canal radicular é desinfetado e obturado dentro de um período de tratamento mais curto do quando comparado com a apexificação com o hidróxido de cálcio. No entanto, a apexificação do MTA geralmente requer outra visita para preencher o canal radicular restante (por exemplo, com guta-percha e selador) após o material ter tomado presa. O *Biodentine*, um cimento à base de silicato de cálcio de nova geração, foi recentemente disponibilizado para induzir a formação imediata de barreira apical com um tempo de fixação mais rápido do que o MTA. Após a presa do

material (aproximadamente 12 min para Biodentine), o canal radicular restante é preenchido e o acesso coronal pode ser restaurado durante a mesma visita. (8)

Apesar da alta taxa de sucesso clínico (85%-96%), estas abordagens não promovem a maturação radicular e a raiz continua a ter paredes finas e friáveis após a finalização do tratamento, deixando o dente suscetível a fraturas catastróficas (que ocorrem em cerca de 5,5%-8,3%), especialmente na região cervical.(8)

1.4.2.2. Procedimentos de endodontia regenerativa

A *American Association of Endodontists* (AAE) define atualmente os procedimentos endodônticos regenerativos (PERs) como sendo o conjunto de todas as abordagens biológicas desenvolvidas para substituir fisiologicamente as estruturas dentárias danificadas, incluindo a dentina, as estruturas radiculares e as estruturas do complexo pulpo-dentinário, incorporando o conceito de engenharia tecidual.(37)

O conceito de regeneração do tecido pulpar foi inicialmente proposto por Nygaard-Østby na década de 1960, estabelecendo as bases da endodontia regenerativa. Em 2001, Iwaya e al. utilizaram a revascularização para induzir com sucesso o desenvolvimento radicular e recuperar a sensibilidade pulpar num dente permanente jovem com periodontite apical. Em 2004, Banchs e Trope relataram um caso clínico com protocolo modificado de revascularização, que consistia na criação de um coágulo sanguíneo nos canais após a desinfecção, servindo de matriz para o crescimento de novo tecido, associado a um selamento coronário hermético para evitar a reinfeção bacteriana do espaço pulpar, fonecendo, assim, a evidência clínica da aplicabilidade da endodontia regenerativa na prática da medicina dentária moderna.(37)

A terminologia utilizada na literatura quando se refere aos PERs tem evoluído ao longo do tempo, incluindo designações com “revascularização”, “revitalização”, “terapia endodôntica regenerativa” e “procedimentos endodônticos regenerativos”. Entre estas, o termo “revascularização” tem sido o mais frequentemente utilizado na literatura. No entanto, importa salientar que os PERs visam não apenas o restabelecimento da vascularização nos tecidos pulpares, mas também a regeneração funcional do complexo pulpo-dentinário. Isso traduz-se clinicamente pelo âmbito não só de induzir a cicatrização

da lesão apical e a resolução das sinais e sintomas, mas também pelo desenvolvimento radicular contínuo e o fortalecimento dos tecidos dentinários, prevenindo eventuais fraturas radiculares. O objetivo final consiste na regeneração de um complexo pulpo-dentinário funcional, restabelecendo a competência imunológica e a nocicepção normal. Sob esta perspectiva, é impreciso designar esta modalidade endodôntica simplesmente como “revascularização”. Em 2007, Murray e al. introduziram o termo “procedimentos endodônticos regenerativos” para refletir a forte influência da engenharia tecidual subjacentes a estes procedimentos de regeneração pulpar.(37)

A engenharia tecidual é um campo interdisciplinar que combina os princípios da biologia com os da engenharia para desenvolver substitutos biológicos capazes de substituir ou regenerar células, tecidos ou órgãos humanos, de modo a restaurar ou restabelecer a função normal. Atualmente, os três pilares desta tecnologia as estratégias são principalmente o transplante de células estaminais, o uso de *scaffolds* e de fatores de crescimento. (37)

O transplante de células tem demonstrado sucesso na regeneração do tecido pulpar em várias situações clínicas. As células estaminais são células indiferenciadas com capacidade de divisão contínua. Existem dois tipos principais : embrionárias e adultas (ou pós-natais). As células estaminais embrionárias possuem a capacidade de se diferenciar em mais de 200 tipos celulares. Em contraste, uma célula estaminal adulta pode dividir-se para originar outra célula idêntica a si própria, bem como uma célula mais diferenciada ; no entanto, a sua capacidade de diferenciação em outros tipos celulares é limitada. Esta característica é designada como “multipotente” e constitui a diferença principal em comparação com as propriedades “pluripotentes” ou “omnipotentes” observadas nas células estaminais embrionárias. Até hoje, foram identificadas diversas populações de células estaminais adultas que podem ser induzidas a diferenciar-se em células semelhantes a odontoblastos sob condições específicas, demonstrando o seu potencial para aplicação nos PERs. Entre estas, incluem-se as células estaminais da polpa dentária, as células da papila apical, as células estaminais do ligamento periodontal, as células progenitoras inflamatórias periapicais e as células estaminais da medula óssea. Mesmo quando os dentes acabam por entrar em necrose pulpar, periodontite apical ou abscesso periapical, podem permanecer tecidos pulpares vitais residuais na região apical, os quais podem ser utilizados nos PERs

para promover a regeneração tecidual. As células estaminais da papila apical foram inicialmente identificadas em 2006, a partir do tecido apical, apresentando elevada capacidade de proliferação e diferenciação odontogênica, características benéficas para o desenvolvimento radicular. Além disso, devido à sua localização próxima dos ápices dentários, estas células são consideradas a fonte de células estaminais mais promissoras para os PERs. As células estaminais do ligamento periodontal e da medula óssea também constituem potenciais fontes de células estaminais para os PERs, uma vez que o sangramento induzido a partir do tecido apical pode promover a libertação destas células. As progenitoras inflamatórias periapicais encontram-se predominantemente centralizadas na rede vascular dos tecidos granulomatosos apicais e representam outra fonte potencial de células estaminais para a endodontia regenerativa. (37)

A matriz dentinária tem sido considerada um reservatório de fatores de crescimento, que podem ser libertados através da desmineralização da matriz da dentina provocada pelo ácido produzido durante o metabolismo das bactérias, pela irrigação com hipoclorito de sódio e ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), ou pela estimulação com hidróxido de cálcio e biomateriais à base de silicato de cálcio, como o MTA. Além disso, o coágulo sanguíneo formado durante os PERs também contém determinados fatores de crescimento. Os fatores de crescimento derivados da dentina são relevantes, como desempenham um papel fundamental no recrutamento, na proliferação e na diferenciação das células progenitoras, bem como na indução da regeneração tecidual. Existem fatores de crescimento endógenos e exógenos, estes últimos também têm sido utilizados para produzir um efeito sinérgico com os fatores de crescimento autólogos nos PERs. Podem se apresentar sob a forma de matrizes de colagénio carregadas com o fator de crescimento derivado de plaquetas recombinante humano ou de matrizes de hidrogel injetáveis impregnadas com o fator de crescimento de fibroblastos básico de maneira a promover a cicatrização apical e o desenvolvimento radicular contínuo em dentes com necrose pulpar.(37)

Um *scaffold* constitui um elemento fundamental na engenharia tecidual, pois desenvolve o papel de orientar a localização das células estaminais e regula a sua proliferação, diferenciação e metabolismo. Além disso, é importante salientar que pode facilitar as trocas

de nutrientes e gases.

- O coágulo sanguíneo, os concentrados plaquetários autólogos e os biomateriais sintéticos podem servir como *scaffolds* nos PERs. Dentro deles, estes dois primeiros são os mais utilizados para ter esta função. Um *scaffold* ideal deve buscar a ter algumas propriedades como ser de fácil aplicação, boas propriedades mecânicas, ser de biodegradação controlável e oferecer a capacidade de incorporar fatores de crescimento. Assim, o coágulo tem sido introduzido como *scaffold* na maioria dos casos de PERs, sendo uma abordagem relativamente simples. Permite que os integradores das superfícies celulares se fixem aos componentes fibrosos e absorvam seletivamente células, fornecendo fatores de crescimento que promovem a regeneração tecidual. No entanto, o coágulo contém numerosas células hematopoiéticas que podem libertar enzimas intracelulares tóxicas durante a morte celular, comprometendo a sobrevivência das células estaminais.(37)
- Outra abordagem para a obtenção de *scaffolds* envolve o uso de concentrados plaquetários autólogos, incluindo o plasmo rico em plaquetas (PRP), fibrina rica em plaquetas (PRF) e o fator de crescimento concentrado (CGF). Estes *scaffolds* autólogos requerem manipulação mínima *in vitro* e são de fácil preparação. Consistem numa matriz tridimensional de fibrina com elevada concentração em moléculas bioativas, e podem degradar-se ao longo do tempo. Contudo, apresentam também limitações na prática clínica, como a necessidade de colheita de sangue intraveinoso com equipamento especializado e a dificuldade em controlar os tipos e concentrações de fatores de crescimento durante a preparação. A falta de controlo no tempo de degradação e a insuficiente resistência mecânica para suportar a restauração coronal comprometem ainda mais a sua aplicação sozinho.(37)
- Diversos *scaffolds* exógenos, incluindo colagénio de tipo I, hidrogéis e colagénio hidroxiapatite, têm sido utilizados clinicamente nos PERs. Estes *scaffolds* são normalmente carregados com fatores de crescimento antes da sua colocação em canais radiculares imaturos . O sucesso clínico tem sido

indicado pela resolução dos sintomas clínicos, pela diminuição da radiotranslucidez apical e pelo desenvolvimento contínuo da raiz.(37)

1.4.2.2.1. A revascularização

A revascularização é outra alternativa de tratamento que pode ser realizada em duas consultas, no entanto, dependendo do protocolo escolhido, a quantidade de sessões de tratamento necessárias pode variar. (38)

Na primeira consulta, faz-se a desinfecção do canal sem instrumentação nas paredes do canal com uma irrigação generosa de hipoclorito de sódio em concentrações geralmente baixas (1,5 até 3%) e depois enxagamento com soro ou EDTA. Após secar o canal, coloca-se hidróxido de cálcio ou uma pasta que contém três antibióticos chamada TPA (*Triple paste antibiotics*) composta de ciprofloxacina, minociclina e metronidazol numa concentração de 0,1mg/mL que tem de ficar durante 4 semanas. (16,37,39) Unfelizmente, foi reportada a associação da TPA com discoloração dentária e teve de ser substituída por *Double paste antibiotics* (DAP) formulada com ciprofloxacina e metronidazol ou com mTAP na qual a minociclina foi trocada por outro princípio antibiótico como clindamicina, amoxicilina ou cefaclor.(38)

Um mês após esta consulta, é induzido o sangramento com introdução duma lima manual fina para além do ápex permitido pela ausência de vasoconstritor no anestésico administrado. Quando o sangue chega ao nível da junção amelocementária coloca-se uma matriz reabsorvível de colagénio, de maneira a estabilizar o *scaffold*, que será posteriormente recoberta de MTA ou Biodentine. Este passo pode ter modificado usando como *scaffold* plasma rico em plaquetas, fibrina rica em plaquetas ou matriz de fibrina autóloga. (38)

Depois destes passos, o dente pode ser restaurado com técnicas adesivas tradicionais. Os objetivos desta técnica são a resolução dos sintomas, a cicatrização óssea, o espessimento das paredes dentinárias/alongamento da raiz. A resposta positiva aos testes de sensibilidade iria significar a reorganização do tecido pulpar vital. A taxa de sucesso chega aos 60%. (16,37,39)

Uma revisão sistemática comparando a eficácia do procedimento endodôntico regenerativo e da técnica de apexificação demonstrou altas taxas de sucesso (90%–100%). Embora a formação contínua de raízes após endodontia regenerativa tenha sido superior à da apexificação, a endodontia regenerativa em dentes permanentes necróticos imaturos traumatizados é um procedimento difícil, especialmente para induzir sangramento da área apical para os canais radiculares, o que pode não ser possível em alguns casos. (8)

Fatores como espessura da dentina radicular (relacionada com o estágio de desenvolvimento radicular), forças parafuncionais e medicação prolongada com hipoclorito de sódio podem contribuir para o aumento do risco de fratura em dentes imaturos. Nos estágios iniciais do desenvolvimento radicular, os dentes apresentam dentina radicular fina e baixa resistência à fratura. Quanto mais espessa a dentina radicular, maior a resistência à fratura da raiz. Em dentes imaturos, a espessura mínima da dentina radicular deve ser de 1–2 mm para suportar forças distribuídas a partir da estrutura coronal. Além disso, Sedgley e Messer relataram que o volume de dentina radicular remanescente está diretamente relacionado à força radicular. A força parafuncional é um potencial fator de risco para fraturas de dentes imaturos.(8)

A obtenção de um selamento hermético, preenchendo completamente o espaço do canal radicular diminui o risco de que microorganismos, deixados no canal, possam entrar em contato com fluidos orais ou periapicais que constituem uma potencial fonte de nutrição para eles e que poderá levar à falha da terapia endodôntica, mesmo anos após a conclusão do tratamento. Com base nesses fatos, estudos de microinfiltração são de crucial importância para avaliar os diferentes fatores envolvidos no processo de obturação do canal radicular. (40)

1.5. Materiais Biocerâmicos

1.5.1. Considerações gerais

Os cimentos endodônticos desempenham um papel crucial no sucesso do tratamento de canais radiculares, devendo garantir um selamento hermético ao preencher o espaço entre o material obturador principal (sobretudo a guta-percha) e as paredes dentinárias previamente preparadas do canal. Alcançam áreas inacessíveis à guta-percha como canais laterais e

túbulos dentinários e assim desempenham a função de barreira. Para alcançar esta capacidade, eles têm de possuir características especiais. A escolha de um cimento endodôntico no uso clínico é uma decisão que contribui para garantir o sucesso do tratamento endodôntico não cirúrgico a longo prazo. (41–43)

Em 1940, Grossman descreveu as características ideais que os cimentos devem ter, considerando os materiais disponíveis na época... Posteriormente, a *International Organization for Standardization*, o *American National Standards Institute* e a *American Dental Association* estabeleceram requisitos norminativos, codificados nas normas ISO 6876 e ANSI/ADA 57. (4)

Assim, os cimentos endodônticos devem apresentar boa fluidez para facilitar a sua colocação no canal, além de um tempo de trabalho adequado ao procedimento. Devem, também ser insolúveis nos tecidos periapicais para evitar o extravasamento para o espaço biológico. Quando tal extravasamento ocorre, a biocompatibilidade do material é fundamental para minimizar reações adversas nos tecidos periapicais e assegurar a segurança do tratamento. (4)

A estabilidade dimensional é, ainda, um critério muito relevante. Após ter tomado presa, o cimento deve preencher todo o espaço entre a guta-percha e a parede de dentina sem falhas que possam dar entrada à recontaminação por microorganismos. Assim, o material não deverá retrair, mas também não deverá expandir para evitar pressão sobre as paredes do dente, uma vez que o dente submetido à tratamento químico-mecânico tem tendência a perder hidratação e elasticidade. Além disso, deve ser insolúvel nos fluidos tecidulares para evitar a sua migração pós colocação no canal e deve possuir radioopacidade para permitir o controlo radiográfico da qualidade do tratamento. (4,44–47)

Para o sucesso ao tratamento, o cimento deve ter uma adesão adequada às paredes do canal e um selamento apical hermético. (4,44–47) A força de adesão consiste na força por área necessária para separar duas superfícies unidas ; no caso dos cimentos corresponde à força necessária para separar o cimento da dentina. Embora não haja correlação direta entre a infiltração e a força de adesão, este parâmetro-teste recebeu interesse crescente. No caso dos cimentos biocerâmicos, apesar de não conseguir chegar a mesma aderência do que os cimentos com resina, mostraram alguma força de adesão devido a sua capacidade de

precipitar cristais de hidroxiapatite e, assim, preencher as zonas “vazias” e criar uma adesão mecânica às paredes do canal. (4)

Caso o tratamento falhe e seja necessário um retratamento, o cimento deve permitir uma fácil remoção, quer através da sua solubilidade ou por métodos mecânicos. (4,44–47)

Idealmente, o cimento deve ser esterilizável e ter capacidade antimicrobiana ou bacteriostática para prevenir a recolonização por patógenos. (4,44–47)

Após o tratamento, o dente deve ter uma cor que não comprometa a estética do sorriso. Assim o cimento não deve causar nenhuma descoloração do remanescente dentário. (4,44–47)

De uma forma geral, um cimento é constituído por vários componentes : o cimento, o agente radioopacificante, aditivos e o veículo. O veículo é o meio no qual os componentes em pó são dispersos, contudo nem sempre é especificado na composição final do produto. O agente radioopacificante é o que permite tornar o cimento visível nos raio-x de controle , no entanto alguns cimentos contém óxido de bismuto que pode causar descoloração do dente ao reagir com o colagénio da estrutura dentária e/ou algumas soluções irrigantes nomeadamente o NaOCl. Para melhorar as qualidades do cimento podem ser acrescentados aditivos e outros componentes que podem, por exemplo, melhorar a consistência ou facilitar o seu manuseamento pelo operador. (47)

A composição dos cimentos endodônticos tem evoluído, tendo passado de óxido de zinco eugenol para materiais como que incluem silicone, resina epoxy e silicato de cálcio. Conhecer as vantagens, desvantagens e características de cada cimento endodôntico é crucial para seleccionar mais adaptado à situação clínica e assim garantir um melhor prognóstico do tratamento. Os cimentos a base de MTA permitiram grandes avanços na área da endodontia pela sua bioatividade e biocompatibilidade. (40,44,45)

A palavra “biocerâmico” faz referência à composição destes cimentos. Hoje em dia, esta denominação é considerada inadequada por alguns autores que consideram que pode gerar confusão entre profissionais de saúde. Por isso, muitos profissionais preferem apelação os termos “cimentos a base de MTA” ou “cimentos hidráulicos” pela sua necessidade de água para iniciar a reação de tomada de presa. (48,49)

A reação inicial dos cimentos à base de silicato de cálcio (CSBS) com a água resulta na formação de silicato de cálcio hidratado e hidróxido de cálcio. Durante esse processo, íons cálcio e hidroxilo são libertados, elevando o pH acima de 12, o que impede o crescimento bacteriano. Para além disso, o ambiente alcalino mantém-se sobre um período prolongado, favorecendo a eliminação contínua das bactérias ao longo prazo. (48)

Paralelamente, os fluidos dos tecidos e os íons de cálcio libertados pelo cimento são essenciais para a deposição de cristais de hidroxiapatite (HA) na superfície da dentina. A formação de uma camada mineral de HA melhora a adesão entre o cimento e o dente. Diversos fatores influenciam a formação de HA, sendo o pH um dos principais. Deste modo, valores de pH mais elevados favorecem a precipitação. O processo de hidratação dos cimentos também é relevante : uma presa mais rápida pode reduzir a fluidez, mas tende a aumentar a taxa de formação de HA. A capacidade de formar HA é crucial para a biomineralização e eficácia nos tratamentos endodônticos destes cimentos. Importa referir que a capacidade de formar HA é essencial para garantir a qualidade da obturação uma vez que contribui para a prevenção de microinfiltrações e favorece a regeneração dos tecidos periapicais, melhorando simultaneamente as propriedades físicas e a biocompatibilidade. (48)

Os cimentos à base de silicato de cálcio (CSBS) podem ser considerados bioativos, uma vez que promovem as interações celulares, a diferenciação de osteoblastos e a deposição de células essenciais à cicatrização dos tecidos. No entanto, como principais desvantagens destes cimentos destacam-se a sua alta solubilidade e a sua retração do material ao longo do tempo.(4) De facto, pela sua característica de ser hidráulico então de precisar de água para tomar presa, em função da forma de apresentação, os cimentos de silicato de cálcio demonstraram graus variáveis de retração sendo os mais estáveis os que contêm resina e ao contrário os que apresentam-se sob a forma de pó e líquido mostraram maior variação volumétrica. (4) No entanto, Aminoshariae e al. sublinharam numa revisão de 2022 que os métodos de avaliação deste parâmetro precisaram de ser revistas como no caso destes cimentos a contração volumetrica deverá ser associada a sua alta solubilidade e que em consequência estes dois parâmetros deveriam ser medidos juntamente.(4) Para além disso, foram ainda observadas interações desfavoráveis com agentes irrigantes, como o ácido

cítrico e o EDTA. Em ambientes com pH inferior a 8,8, o silicato de cálcio hidratado formado durante a reação de hidratação perde estabilidade e este fenômeno acelera o processo de degradação do material, promovendo a dissolução dos compostos contendo cálcio. (48)

Adicionalmente, os íons de cálcio podem reagir com ácidos formando sais, que, quando solúveis, são eliminados do material, originando poros ; por outro lado, sais insolúveis podem provocar expansão do material e gerar fissuras. Estes efeitos conduzem à formação de espaços vazios e à reabsorção do cimento, favorecendo, em consequência, a microinfiltração bacteriana. Por outro lado, os mesmos agentes irrigantes podem ser utilizados para dissolver os CSBS durante procedimentos de retratamento endodôntico. (48)

Além disso, os CSBS estão disponíveis numa ampla variedade de formulações. Alguns apresentam-se sob a forma de duas pastas a misturar, enquanto outros são fornecidos como pó e líquido, exigindo mistura prévia para obter uma pasta. Existe ainda um grupo distinto de cimentos apresentado como pasta única, pré-misturada, que pode ser aplicada diretamente no canal radicular através de uma seringa com cânula apropriada. (48)

Embora muitos destes cimentos, com composições químicas distintas, sejam classificados como CSBS, as suas propriedades podem variar significativamente. Essas diferenças podem influenciar a estrutura do cimento, assim como a qualidade e o sucesso do tratamento endodôntico. Variações na composição química do material podem originar interações iônicas distintas com os tecidos envolventes, desencadeando respostas celulares diferentes. As substâncias libertadas na superfície do cimento podem favorecer a formação e deposição de compostos que potenciam a adesão do material à dentina radicular. No entanto, a libertação de determinadas partículas pode também ter um efeito potencialmente tóxico. Em consequência, o contacto destes cimentos com os tecidos pode dar origem a irritação, levar a inflamação e atrasar o processo de cicatrização.(48)

Devido à diversidade de CSBS, surgiu a necessidade de os classificar. Em 2019, Donnermeyer propôs organizar os cimentos de silicato de cálcio existentes no mercado de acordo com a sua forma de apresentação e de acordo com a composição aproximada. (49)

Relativamente à sua forma de apresentação, distinguem-se dois grupos. O primeiro grupo

de materiais, composto por um único componente, requer a adição de uma fonte externa de água para tomar presa, e a segunda categoria inclui cimentos que vêm com uma solução aquosa para misturar antes da sua aplicação no canal. Os dois tipos de materiais apresentam a mesma reação de tomada de presa, que consiste em hidratação seguida de precipitação.

(49)

Quanto à classificação por composição, os CSBS são também divididos em duas categorias:

- Os naturais que incluem produtos cujo pó é obtido através do processamento de cimento de Portland (49) ;
- Os sintéticos que englobam os CSBS cujo pó é obtido por síntese laboratorial de silicato de cálcio. (49)

Para tentar esclarecer e sumarizar todas as classificações, em 2020, Drukteinis e Camilleri introduziram o conceito de geração. Assim :

- Pertencem à primeira geração os cimentos baseados na mistura do cimento de Portland com óxido de bismuto. (41,42)
- A segunda geração engloba os cimentos baseados no trisilicato de cálcio puro. (41,42)
- A terceira geração é a mais recente, consiste em cimentos biocerâmicos pré-misturados denominados de “*ready to use*” e desenvolvidos especialmente para guiar a regeneração tecidual. (41,42)

1.5.2. MTA

O MTA é uma mistura de cimento de Portland com óxido de bismuto, silicato dicálcico, aluminato de tricálcio, aluminoferrito de tetracálcio e outros óxidos minerais. É considerado como sendo o material de eleição para realizar as terapias de polpa vital devido a sua alta taxa de sucesso e por ser o material o mais estudado nestes procedimentos. (50–52) O seu pH é de cerca de 12,5 após a tomada de presa, o que é muito similar ao do hidróxido de cálcio, antigamente muito usado nas apexificações. (51,53)

O cimento de Portland, por ser composto por fases de silicato e de aluminato, produz diferentes subprodutos quando durante a hidratação em comparação com trissilicato de cálcio puro.(51) Além disso, os cimentos de Portland utilizados em, tanto brancos como cinzentos, mostraram níveis elevados de resíduos de elementos como arsénico, crómio e chumbo quando extraídos em meio ácido, em consequência de práticas comuns no sector da construção para reduzir custos durante o processo de fabricação industrial.(54,55) Embora estas contaminações existem, a quantidade efetivamente libertada em solução é mínima e não tem impacto significativo na biocompatibilidade do MTA.(55,56)

O óxido de bismuto, que é acrescentado ao cimento de Portland para atuar como agente radioopacificante, é um componente instável e interfere na reação de hidratação do cimento, substituindo o silício na estrutura do silicato de cálcio hidratado. (51) Os primeiros relatos de descoloração dentária associados ao uso do MTA foram achados acidentais. Os fatores causadores implicados na alteração da cor do óxido de bismuto, que pode tomar uma cor entre o amarelo e o castanho escuro, incluem a sua reação com hipoclorito de sódio, formaldeído, bem como o contacto com o colagénio da estrutura dentária. A luz e a presença de oxigénio têm também sido identificadas como fatores que contribuem para a alteração de cor do material. A adição de componentes alternativos ao óxido de bismuto ao MTA, como o óxido de zinco demonstrou eliminar a descoloração, sem comprometer as propriedades do material. (57)

Outra limitação relevante com a formulação original do MTA é a sua consistência quando misturado, frequentemente descrita como granulosa ou arenosa. A formulação original é espatulada manualmente, o que dificulta a sua aplicação no local operatório. O MTA apresenta um tempo de presa mais prolongado (de cerca de 2 horas e 45 minutos), superior ao de outros materiais de obturação retrógrada, como o amálgama, o óxido de zinco eugenol reforçado com alumina e o ionómero de vidro modificado por resina (IRM). Este longo tempo de presa torna o MTA inadequado para a muitas aplicações clínicas. De mencionar também que, a variação nas proporções pó-líquido , uma ocorrência frequente na prática clínica dado que a quantidade fornecida (em gramas) raramente é utilizada numa única aplicação, também influencia as propriedades do MTA, promovendo um tempo de presa ainda mais prolongado. (56)

O MTA foi o primeiro material dentário que conseguiu estimular o crescimento de cimento cimento e de promover, assim, a regeneração dos tecidos periapicais. (53) Apesar de possuir excelentes propriedades de bioatividade e de biocompatibilidade, tem a grande desvantagem de causar descoloração dentária e de enfraquecer as paredes dentinárias semelhante ao do hidróxido de cálcio. (53) De salientar também o seu elevado custo, longo tempo de presa, e dificuldade de manuseio. (58)

1.5.3. Materiais biocerâmicos de segunda geração

Para superar as limitações do MTA, foram desenvolvidos materiais alternativos baseados no trisilicato de cálcio puro em vez do cimento de Portland. Com a introdução destes biomateriais, surgiu a designação “biocerâmicos” que enfatiza as propriedades de inércia, pureza e a biocompatibilidade destes materiais, embora o termo não seja cientificamente exato. De forma geral, os cerâmicos são sólidos inorgânicos, não metálicos e resistentes ao calor, de elevada dureza, mas frágeis. No mundo dos materiais dentários, o termo cerâmico abrange uma variedade ampla de materiais como vidros, zircônia e porcelana, tornando necessário especificar o tipo e a aplicação de cada material. (41)

Os biocerâmicos de segunda geração apresentam modificações relevantes na sua formulação que passam pela substituição do óxido de bismuto, identificado como agente causador da descoloração dentária, e pela introdução de aditivos que visam a baixar o tempo de presa e a facilitar o manuseamento clínico, sem comprometer a biocompatibilidade. (58)

Na sequência dos inconvenientes clínicos associados aos materiais iniciais, houve necessidade de realizar modificações nos seus constituintes. Assim, o cimento de Portland utilizado inicialmente foi substituído por trisilicato de cálcio, de modo a diminuir a percentagem de alumínio presente previamente, o óxido de bismuto foi substituído por outros compostos radiopacos que fornecessem maior estabilidade ao cimento, e as propriedades de manipulação foram otimizadas, originando os materiais de segunda geração (41). As partículas constituintes do cimento dos materiais de primeira geração variam num intervalo de 1.5–160 μm , o que se revelou insuficiente para garantir uma adequada fluidez e a produção de um biocerâmico puro. Com os avanços tecnológicos ao nível da nanotecnologia tornou-se possível diminuir o tamanho destas partículas,

permitindo o desenvolvimento de uma nova geração de biocerâmicos, os biocerâmicos à base de silicato de cálcio. (59)

Deste modo, o Biodentine surgiu no mercado por volta de 2009 (60), sendo o primeiro material deste tipo a utilizar óxido de zircônia como agente radioopacificante, embora com menor visibilidade radiográfica quando comparado com o MTA original. A sua composição é similar à do MTA, mas inclui ainda carbonato de cálcio, possivelmente com função de acelerar a presa. O líquido de mistura é uma solução aquosa com cloreto de cálcio e carboxilato numa forma de polímero hidrosolúvel que atua como agente reductor de água, reduzando o tempo de presa a cerca de 12 minutos. (61,62)

O NeoMTA2 (Avalon Biomed, Houston, EUA) é um cimento biocerâmico de segunda geração introduzido no mercado como sendo o sucessor do NeoMTA plus (NuSmile, Avalon Biomed, Bradento, FL).(63,64) Trata-se de um cimento versátil, composto de trisilicato de cálcio, disilicato de cálcio, aluminato de tricálcio, sulfato de cálcio e de óxido de tântalo. (63,65) Este último desempenha o papel de agente radioopacificante por forma a prevenir a descoloração dentária observada nos dentes obturados com cimentos que têm óxido de bismuto nos seus componentes. A formulação permite a libertação de iões de cálcio no local de colocação.(65) Mesmo sendo ainda recente, existe na literatura evidências que o NeoMTA 2 apresenta citocompatibilidade, bioatividade e radioopacidade. (64) Este material apresenta-se sob a forma de um pó a misturar com um hidrogel, o que permite obter a consistência desejada e, assim, otimizar o manuseamento clínico. De acordo com o fabricante, esta forma de apresentação contribua à polivalência do cimento uma vez que permite a obtenção de texturas diferentes de maneira a obter a consistência optimal segundo as preferências do operador e o tratamento a realizar (mais fluído para obturar um canal da maneira tradicional ou mais compacta/arenosa no caso das barreiras apicais). (63)

Paralelamente, outras empresas desenvolveram variantes destes cimentos à base de trisilicato de cálcio, com diferentes características : versões em pó e gel para facilitar o uso e reduzir custos, formulações com tempos de presa mais curtos e maior resistência à descoloração.(61)

No entanto, e apesar destes avanços e da versatilidade destes cimentos, continuam a ser de difícil manuseamento por obrigar a uma etapa adicional de mistura fora da boca.

1.5.4. Materiais biocerâmicos de terceira geração

Segundo Camilleri, nos últimos anos surgiu uma nova formulação que marcou o início daquela que é chamada a terceira geração de biocerâmicos. (41) Apesar de terem conseguido superar a maioria das limitações do MTA, os biocerâmicos de segunda geração obrigavam a uma mistura fora da boca, sobretudo porque a forma de apresentação em pó com líquido não era a mais adequada para algumas situações clínicas (66) ou vinham, como o Biodentine, num formato que não permitia adaptar a quantidade preparada à quantidade realmente desejada originando desperdícios de material.

Esta nova geração caracteriza-se por ser “pronta a usar”, sendo geralmente disponibilizada sob a forma de seringas pré-misturadas que permitem a colocação direta no local desejado, reduzindo, assim o desperdício associado ao uso de material em excesso e simplificando “logisticamente” o seu uso no consultório, uma vez que elimina a necessidade de manipulação manual ou mecânica no caso de Biodentine. (66)

Estes biocerâmicos, desenvolvidos para ser mais “*user-friendly*”, incluem formulações híbridas que, em alguns casos, permitem a fotopolimerização, reduzindo significativamente os tempos de presa. A adição de monómeros de resina contribui para melhorar as propriedades físicas destes materiais, no entanto, existem preocupações quanto à citotoxicidade potencial resultante da libertação de monómeros residuais em contacto com o tecido pulpar. (67)

Por outro lado, os biocerâmicos pré-misturados demonstram melhor biocompatibilidade em relação a materiais biocerâmicos mais antigos, promovendo a formação de dentina reparadora devido à sua capacidade de formar apatite. Outras vantagens associadas a estes materiais incluem a sua consistência uniforme, a menor sensibilidade técnica, as suas propriedades antibacterianas e o facto de permitir aplicações versáteis.(67)

Além da sua utilização em medicina dentária, sobretudo em procedimentos de protecção pulpar e de apexificação, estes materiais têm sido explorados em vários campos da medicina humana para guiar a regeneração óssea especialmente destinados para guiar a regeneração óssea. (68)

São materiais nos quais as propriedades não são alteradas pela presença de água nem de sangue, sendem assim menos sensíveis à técnica. (66) Ademais, estes materiais, além de biocompatíveis, possuem alguma resistência mecânica e têm uma velocidade de degradação similar à do processo de regeneração tecidual. (42)

1.6. Métodos de avaliação do selamento apical

O objetivo do tratamento endodôntico é de promover a cicatrização dos tecidos periapicais através duma desinfecção químico-mecânica rigorosa dos canais radiculares. Após a eliminação máxima dos microorganismos responsáveis pela infecção, é importante impedir a reentrada deles com uma obturação bem selada apical e coronalmente. (5,6,69)

A capacidade de selamento de um cimento está diretamente relacionada com a sua solubilidade e a sua capacidade de adesão à dentina e aos cones de guta-percha. Este parâmetro tem sido o alvo de vários estudos *in vitro* com cimentos biocêramicos. Importa lembrar que a filtração apical de uma obturação endodôntica é também influenciada por outros fatores como a técnica de obturação usada, a presença ou não de *smear layer* e as propriedades físicas e químicas do cimento usado. (58)

A microinfiltração define-se como a passagem, clinicamente indetetável, de fluidos orais, bactérias, iões e moléculas na interface entre o dente e o material de obturação. (69,70) A literatura insiste no facto de uma obturação não ser uma entidade inerte, mas antes uma “micro-fenda” dinâmica na qual existe trânsito constante de iões, moléculas e de microorganismos. (69)

Reconhecendo-se a importância do controlo deste parâmetro, foram desenvolvidas diversas técnicas metodologias para avaliar a capacidade de selamento de um material obturador ou de uma técnica de obturação, geralmente através da medição da extensão ou do percurso de penetração dum agente traçador capaz de infiltrar-se no material de obturação. (70) Caso não existam métodos padronizados para avaliar a microinfiltração, torna-se difícil comparar os resultados obtidos entre diferentes cimentos.(71) Por isso, estes métodos de avaliação acabam por ser alvo de críticas na literatura. (71)

1.6.1. Infiltração por penetração de corantes

O teste por infiltração de corante é o mais comum para avaliar o selamento apical devido à

sua simplicidade e baixo custo. A técnica consiste na imersão dos dentes numa solução corada (como eosina a 5%, azul de metileno a 0,5-2%, tinta azul, tinta preta, tinta de desenho, rodamina B a 0,5%, fucsina a 0.5%, entre outros) durante um tempo definido. Após este contacto com os corantes, os dentes são submetidos a um corte transversal ou longitudinal para observar a penetração linear dos corantes na estrutura dentária. No entanto, uma das desvantagens associadas ao corte longitudinal da dentina é a aleatoriedade na escolha do eixo de secção, o que reduz a probabilidade de o corte passar exatamente pelo ponto de penetração máxima do corante. Esta limitação pode levar a uma subestimação da microinfiltração e à obtenção de dados pouco fiáveis. (44) Os cortes transversais, como podem ser realizados em várias secções de 1mm a partir do apex, permitem uma análise mais segmentada. (14)

A profundidade de penetração pode ser avaliada com recurso a um estereomicroscópio, com ampliações entre x4 e x30, independentemente do tipo de corante utilizado. No caso de corantes fluorescentes, como a rodamina B, pode ser utilizado um microscópio confocal a laser. Também é possível recorrer a registo fotográfico e a uma análise por meio de *softwares* que permitem calcular a extensão da infiltração. (14)

Alguns estudos de microinfiltração incluem ainda ciclos térmicos ou mecânicos, com o objetivo de simular de forma ainda mais realista as condições clínicas. Adicionalmente, a técnica de microinfiltração por corantes é muitas vezes complementada com a técnica de clareamento que permite facilitar a identificação das áreas coradas. (14)

Alguns estudos de microinfiltração incluem ainda ciclos térmicos ou mecânicos, com o objetivo de simular de forma ainda mais realista as condições clínicas. Adicionalmente, a técnica de microinfiltração por corantes é muitas vezes complementada com a técnica de diafanização que permite facilitar a identificação das áreas coradas. (14)

A escolha do corante tem influência direta sobre os resultados. De facto, cada corante contém partículas coradas de tamanhos específicos, um pH e uma reatividade química próprios que podem interferir de forma distinta com o cimento testado. (14)

O uso de azul de metileno é comum por seu baixo custo, fácil manuseamento, elevada capacidade de coloração e pelo facto de apresentar um peso molecular inferior ao das

tóxicas bacterianas. Alguns investigadores sugerem que o azul de metileno apresenta um padrão de infiltração semelhante ao do ácido butírico, um produto metabólico microbiano com maior capacidade de penetração do que a tinta de China. (14)

Contudo, este corante apresenta algumas limitações, nomeadamente a sua dissolução durante os processos de desmineralização e clareamento, bem como a dificuldade em identificar, em certos casos, o ponto máximo de penetração. Vários autores propõem a utilização da rodamina B como alternativa ao azul de metileno. (14) Relativamente à tinta de desenho, um estudo de Mente e al relatou que a tinta de desenho revelou menor penetração na dentina radicular quando comparada com os restantes corantes.(72) O tamanho das partículas deste corante (0,1-2 μ m) é comparável ao de vários microorganismos patogénicos associados à endodontia, o que pode constituir uma vantagem em estudos de infiltração com corantes. No entanto, Barthel e al. defenderam que o tamanho das partículas pode não ser um factor determinante nestes estudos. (14)

As partículas de tinta da China, com diâmetros inferiores a 3 μ m, são também amplamente usadas. Foi reportado que o peso e o tamanho molecular desta tinta são inferiores aos dos componentes bacterianos isolados de canais radiculares, o que pode comprometer a sua capacidade de simular com precisão os fluídos presentes no espaço periapical, conduzindo a possíveis falsos positivos nos estudos de infiltração. (14)

Um aspeto relevante nos estudos de penetração de corante é a presença de ar retido nos espaços vazios dos materiais de obturação dos canais radiculares, que pode interferir com o movimento dos fluídos.(14) Estudos de Spångberg e al e de Oliver e Abbott indicam que a penetração do corante é maior em lacunas secas (com ar) do que em lacunas preenchidas com água, sendo que métodos a vácuo promovem uma maior penetração do que métodos passivos.(70,73,74) Assim foi recomendado que os estudos sejam realizados sob pressão reduzida (frequentemente, mas incorretamente, referida como “vácuo”). No entanto, é de notar que é difícil eliminar completamente o ar aprisionado ao aplicar pressão reduzida em espaços pequenos, como os de 2 μ m de diâmetro, os quais são permeáveis às bactérias.(14)

Kontakiotis e al. investigaram a influência da hidratação nos espaços vazios dos grupos de obturação, utilizando um modelo de transporte dos fluídos e penetração de corantes. Num dos grupos, aplicou-se ar para eliminar a água dos espaços, tendo-se verificado que o azul

de metileno penetrou mais facilmente em lacunas secas do que nas preenchidas com água. Nas lacunas preenchidas com ar, a penetração deu-se por ação capilar, enquanto que, nas preenchidas com água, ocorreu por difusão. (14)

Foi ainda reportado que o método do “vácuo” promoveu uma penetração significativamente maior do corante, quando comparado com a filtração de fluídos e a penetração passiva de corantes. (14)

1.6.2. Técnica de diafanização

A técnica de diafanização foi introduzida por Okumara em 1927 e consiste em tornar o dente transparente após a preparação química da amostra. (71) Este método permite uma visualização tridimensional da anatomia interna dos canais radiculares sem perda de substância dentária, facilitando a identificação das áreas de infiltração. Trata-se de um método simples e rápido que não requer nenhum equipamento complexo. Esta técnica possibilita a observação dos canais laterais e acessórios, evidenciando de forma clara a relação entre o material de obturação e o forâmen apical. No entanto, a principal limitação é a desmineralização deficiente que pode comprometer a transparência final da amostra. Em termos de precisão na detecção da infiltração apical, a diafanização revela-se superior ao corte transversal, uma vez que permite identificar infiltrações em frações de milímetro. Por outro lado, o corte transversal apenas permite determinar a presença ou a ausência de infiltração. (14,71,75)

Nesta técnica, o dente é inicialmente descalcificado com ácido nítrico a 5% durante 3 dias. Após esta etapa, procede-se à desidratação gradual em álcool, começando com uma concentração de 0% (somente água) as primeiras 3 horas até atingir os 80%. O dente deverá permanecer em álcool a 80% durante uma noite. No dia seguinte, o dente deverá ser transferido para álcool a 90% e aí permanecer durante 3 horas, seguido de submerção em álcool a 100% durante 3 horas. O passo final da diafanização consiste na imersão em salicilato de metilo durante 3 horas até que os espécimes se tornem transparentes e estejam aptos para ser avaliados. (15)

Uma das desvantagens desta técnica reside no facto de a imersão em ácido nítrico e em álcool durante períodos prolongados poder levar à dissolução dos corantes utilizados.

Ademais, apesar de ser um método que permite medir com precisão a penetração de elementos traçantes, não permite medir o volume de solução corante dentro do canal.(71)

1.6.3. Método de filtração de fluídos

A filtração de líquidos é uma técnica de avaliação *in vitro* do selamento apical, baseada na medição da passagem de líquido através das amostras. Esta avaliação é feita medindo o deslocamento de uma bolha de ar, produzido ao longo do trajecto do movimento do líquido. Para provocar o movimento do líquido e avaliar a infiltração, é aplicada uma pressão de gás oxigénio atrás do líquido, mantida constante durante toda a experiência utilizando um manómetro. Uma pequena bolha de ar é inserida numa pipeta com recurso a uma seringa de maneira a que ocupe todo o diâmetro interno da pipeta, garantindo que o seu deslocamento constitui um indicador fiável da passagem de líquido através do tubo. (70)

Em comparação com os métodos realizados com penetração de corante, o método de filtração de líquido apresenta a vantagem de não necessitar de destruir as amostras e de permitir obter resultados quantificáveis precisos. Uma vantagem da técnica de filtração de líquidos é que não utiliza agentes químicos, ao contrário da infiltração por corantes. Isso é útil quando outros métodos podem ser problemáticos, por exemplo, se houver risco de que o corante reaja com a dentina ou com o cimento, alterando os resultados. De facto, alguns corantes utilizados em técnicas de teste convencionais reagem com a dentina, o que pode conduzir a falsos resultados. No entanto, Pommel e Camp referem que alguns procedimentos desta técnica não estavam normalizados sendo que a pressão podia variar entre 1 e 20 psi e o tempo de realização da experiência entre 1 minuto e 3 horas. Estas variações influenciaram os resultados, tempos de medição mais longos conduziam a valores de microinfiltração mais baixos, enquanto pressões mais elevadas estavam associadas a valores de microinfiltração superiores. Sugeriram que uma pressão de 15 cm H₂O seria eficaz, por estar próxima da pressão fisiológica. De acordo com o seu estudo, a pressão, o tamanho da bolha ou o diâmetro da micropipeta poderiam afetar a sensibilidade do sistema.(70)

1.6.4. Migração bacteriana e de endotoxinas

Existem três métodos que usam a técnica da infiltração bacteriana, isto é, de utilização de

bactérias como marcadores de infiltração : a técnica da dupla câmara, a detecção das bactérias pelo microscópio eletrónico de varrimento (SEM) e a reação em cadeia de polimerase (PCR). (5)

A técnica de microinfiltração bacteriana foi inicialmente utilizada por Fraser e introduzido como “técnica da dupla câmara” por Torbinejad e al.. Nesta técnica, a cultura bacteriana é colocada em contacto com a parte coronal do dente, enquanto a parte apical da amostra fica em contacto com um meio de cultura estéril, sendo o material de obturação do canal radicular o único caminho entre a câmara superior (com a cultura bacteriana) e a câmara inferior (com o meio estéril). Este sistema é colocado numa estufa a 37°C, sendo as amostras observadas diariamente para verificar a turvação do meio na câmara inferior. O tempo necessário para que o meio se torne turvo serve como indicador de contaminação do canal radicular. É fundamental garantir a vitalidade e a atividade das bactérias, por isso, a suspensão bacteriana no compartimento superior deve ser substituída todos os dias. Para confirmar a validade do ensaio, é igualmente necessário identificar as bactérias responsáveis pela turvação na câmara inferior. Deste modo, e para garantir a fiabilidade do ensaio, esta técnica deve ser realizada com um microbiologista experiente. (70)

Nas técnicas que usam o SEM e a PCR, as bactérias são diretamente observadas ou identificadas dentro do canal ou dos túbulos dentinários. (70)

No modelo da dupla câmara, pode usar-se uma espécie bacteriana (*E. faecalis*, *S. mutans*, *P. Mirabilis*, entre outras) ou um conjunto de espécies ou saliva humana. Timpawat e al. demonstraram que o modelo de infiltração bacteriana (principalmente coronal) simula de maneira mais realista o ambiente oral dum ponto de vista biológico em comparação com o método da penetração de corantes. Baseando-se na literatura, a maioria dos cimentos endodônticos apresentam atividade antibacteriana suficiente para impedir a entrada de bactérias. (70)

A utilização de saliva humana apresenta vantagens, dado que simula de forma mais realista as condições clínicas. Contudo, esta abordagem não consegue replicar alterações no ambiente oral, como variações térmicas ou o impacto da dieta no fluxo salivar. (70)

A avaliação da capacidade de selamento com guta-percha através do método de infiltração

com saliva baseia-se na atividade das enzimas hidrolíticas salivares e na sua capacidade de romper o selamento. Os produtos microbianos provocam a desintegração da guta-percha e comprometem a sua adaptação às paredes do canal radicular, prejudicando assim a eficácia da obturação. (70)

Todas as técnicas de avaliação de infiltração bacteriana apresentam certas limitações e podem originar resultados diferentes quando comparadas com os outros métodos de avaliação de microinfiltração. Na maioria dos estudos revistos, os resultados obtidos por microscopia electrónica de varrimento (SEM) mostraram correlação com os do teste de infiltração microbiana. O teste de infiltração bacteriana utilizando saliva reproduz de forma mais fiável as condições clínicas na avaliação da infiltração por espécies bacterianas únicas ou mistas. A principal vantagem da técnica de PCR é a sua elevada especificidade na deteção de microorganismos-alvo, reduzindo os resultados falsos positivos, os quais se devem à presença de bactérias residuais no sistema de canais radiculares antes da obturação. (70)

1.6.5. Avaliação por meios radiográficos

A identificação de zonas sem cimento ou com compactação insuficiente é clinicamente relevante, sendo a análise do espaço entre a parede do canal radicular e o material obturador uma forma aceite de analisar a qualidade da obturação. A radiografia é uma das técnicas utilizadas para esse fim, mas tanto os métodos analógicos como os digitais apresentam limitações, pois produzem imagens bidimensionais de estruturas tridimensionais, causando sobreposição de estruturas anatómicas. (76)

Nos últimos anos, a tomografia computadorizada de feixe cónico (CBCT) tem sido introduzida como técnica não invasiva para avaliar estruturas dentoalveolares. (76)

A tomografia computadorizada é uma técnica não destrutiva que oferece uma visão tridimensional das obturações realizadas. Pelo meio de imagens de alta qualidade, permite a visualização de zonas desprovidas de material de obturação ou há compactação insuficiente, possibilitando avaliar a qualidade das obturações. Embora não seja, por si só, suficiente para quantificar falhas no selamento apical, oferece uma boa indicação da homogeneidade do material obturador dentro do canal, o que pode orientar o operador na

avaliação da qualidade das obturações. (46) Esta técnica utiliza uma dose reduzida de radiação, oferece alta resolução, fornece imagens tridimensionais e sem distorção em relação à realidade. (76)

1.6.6. Avaliação com o microscópio eletrônico de varrimento

A técnica com microscópio eletrônico de varrimento (MEV) permite observar, com grande ampliação e elevada resolução, a interface entre os materiais de obturação e as paredes do canal radicular. O objetivo é verificar a qualidade da adaptação e, assim a hermeticidade da obturação. (77)

A preparação das amostras para análise por MEV inicia-se com o corte dos espécimes na orientação desejada, seguido de desidratação progressiva em concentrações crescentes de álcool (etanol) até 100% para remover totalmente a água da amostra. (77)

De seguida, os dentes serão submetidos à metalização, uma etapa na qual os cortes de cada espécimen serão recobertos por uma fina camada de metal (ouro, ouro-paládio ou carbono) através dum processo chamado *sputter coating*. (77)

A preparação preliminar serve para permitir a observação com o microscópio electrónico de varrimento onde um feixe de eletrões varre a superfície da amostra e os sinais secundários (eletrões secundários ou retroespalhados) são detetados para formar imagens de alta resolução. (77)

As imagens permitem identificar a presença ou ausência de *microgaps*, a penetração do cimento nos túbulos dentinários, a uniformidade da interface obturação/dentina e a possível desintegração ou retração do cimento. (77)

É uma técnica que fornece um elevado nível de resolução com uma precisão ao nanómetro, que permite observar detalhes da interface que são invisíveis ao microscópio ótico e que fornece evidência direta da qualidade do selamento apical. No entanto esta técnica apresenta algumas limitações : trata-se de uma técnica destrutiva que não permite a reutilização da amostra, que exige uma preparação cuidadosa, que se realizada com recurso a equipamentos especializados, e que só permite uma visão focada em pontos específicos, não possibilitando uma visão global contínua do canal. (77)

1.6.7. Modelo *in vivo* : o modelo animal

Estudos em animais permitem avaliar microinfiltração *in vivo* uma vez que permitem a realização de análises histológicas e radiográficas dos materiais endodônticos. Parâmetros como a resistência da adesão, à expulsão (*push-out strength*) e a durabilidade da adesão podem também ser indicativos do potencial de infiltração dos materiais utilizados. No entanto os resultados dos testes de resistência de união não demonstraram uma correlação consistente com os ensaios laboratoriais que avaliam o selamento marginal das restaurações, como é o caso dos testes de infiltração *in vitro*. (75)

Os modelos animais permitem uma avaliação multidimensional da resposta de cicatrização, incluindo características estruturais como a formação da ponte dentinária. Os ratos são um dos modelos pré-clínicos mais utilizados na investigação endodôntica, devido ao seu tamanho, custo reduzido e manuseamento relativamente simples em ambiente laboratorial. No entanto os ratos não fornecem a mesma flexibilidade genética do que os ratinhos, o que limita a investigação dos mecanismos celulares e moleculares subjacentes à regeneração tecidual. (78)

Apesar desta vantagem dos ratinhos em termos de manipulação genética, estes animais possuem uma cavidade oral e dentes geralmente de tamanho muito reduzido o que torna os procedimentos técnicos muito desafiantes. Contudo, neste ponto, o uso de microscópio operatórios cirúrgicos tem vindo a melhorar significativamente a execução de procedimentos endodônticos e dentários em animais de menor dimensão. (78)

Apesar de permitir a observação do comportamento dos materiais em condições semelhantes às fisiológicas, estes modelos não permitem avaliar a estabilidade a longo prazo dos materiais, uma vez que os ratos têm uma reduzida esperança de vida. Tratam-se de estudos que têm um custo elevado e que necessitam de condições logísticas específicas. Os animais, apesar de terem muitas semelhanças com o ser humano, não têm respostas imunológicas nem morfologia dentária estritamente iguais às do corpo humano e, assim, os resultados obtidos têm de ser avaliados cuidadosamente. Em continuação, a utilização de animais em investigação é regularmente regulamentada e está sujeita à restrições éticas, o que obriga à justificação científica sólida e uma aprovação prévia por comissões de ética. (78)

Assim, sendo os estudos de infiltração apical relevantes na avaliação da capacidade de selamento apical de cimentos biocerâmicos, aplicamos um destes testes para determinar a eficácia dum cimento recentemente introduzido no mercado, o NeoMTA2, em barreiras apicais de diferentes espessuras.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESES

2.1. Objetivo geral

Realizar um estudo comparativo *in vitro* que avalia a capacidade de selamento do NeoMTA2 em barreiras apicais de diferentes espessuras, em dentes com ápices abertos.

2.2. Objetivos específicos

Medir e comparar a infiltração apical de corante azul de metileno em milímetros em dentes humanos standardizados a um comprimento radicular de 12mm e com diâmetro apical alargado a 0,80mm obturado com barreiras apicais do cimento biocerâmico NeoMTA 2 com duas espessuras diferentes, de 2 e 4mm.

2.3. Hipóteses

Hipótese :

- **H0** : Não existe diferenças estatisticamente significativas na penetração do corante em barreiras apicais de NeoMTA 2 de 2 e 4 mm de espessura.
- **H1** : Existe diferenças estatisticamente significativas na penetração do corante em barreiras apicais de NeoMTA 2 de 2 e 4 mm de espessura.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 Material usado

Por ordem alfabética

- Adesivo Scotchbond universal (3M Health, Solventum, Maplewood, EUA)
- Água destilada (Laboratório de investigação Egas Moniz, Caparica, Portugal)
- Agulha com abertura lateral luer-lock (Clínica Universitária Egas Moniz, Caparica, Portugal)
- Álcool etílico a 100% (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha)
- Broca tronco-cônica diamantada (Torino dental, Turim, Itália)
- Broca de Peeso de tamanho nº01 e de comprimento 32mm (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)
- Caixas de plástico com tampa roscada de contenência 30mL (loja chinesa, Lisboa, Portugal ; Clínica Universitária Egas Moniz, Caparica, Portugal)
- Calibrador de gutta percha (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)
- Cimento endodôntico AH Plus (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)
- Cimento endodôntico NeoMTA 2 (Avalon Biomed, Houston, Estados-Unidos de América)
- Condensadores digitais (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)
- Cones de gutta percha 2ª série Dia-ProT® (Diadent, Amsterdão, Países-Baixos)
- Cones de papel (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)
- Contra-ângulo (Apple Dental, Guangdong, China)
- Corante de azul de metileno a 1% (Laboratório de investigação Egas Moniz, Caparica, Portugal)

- Curetas Gracey (Asa Dental, Lucca, Itália)
- Destartarizador (Woodpecker, Guilin, China)
- Discos de algodão Wells (Wells, Matosinhos, Portugal)
- Disco HP Diamante Total (Torino dental, Turim, Itália)
- Estufa (Memmert, Büchenbach, Alemanha)
- Formalina tamponada a 10% Histofix (Grupo Erviegas, Indaiatuba, Brasil)
- Frascos de centrifugação em polipropileno (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha)
- Hipoclorito de Sódio a 5,25% (Clínica Universitária Egas Moniz, Caparica, Portugal)
- Kit de limas endodônticas manuais K-Flexofile® #10 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)
- Kit de limas endodônticas mecânicas 1ª série e 2ª série Protaper® Universal (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça)
- Lamparina (Clínica Universitária Egas Moniz, Caparica, Portugal)
- Lima mecânica Hyflex (Coltene, Langenau, Alemanha)
- Lupa binocular M5-94147 (WILD Heerbrugg, Heerbrug, Suíça)
- Mandril HP Diamante Total (Microdont, São Paulo, Brasil)
- Micromotor Woodpecker Endo Radar (Woodpecker, Guilin, China)
- Papel encerado para manipulação do cimento (Kerr Dental, Brea, Estados-Unidos de América)
- Peça de Mão (Apple Dental, Guangdong, China)
- Pinça (Clínica Universitária Egas Moniz, Caparica, Portugal)
- *Plugger* endodôntico (Asa Dental, Lucca, Itália)
- Programa Excel do Office (Microsoft, Washington, Estados Unidos da América)

- Régua Endodôntica *Endo-Block* (Torino Dental, Turim, Itália)
- Resina Composta Flow Tetric Evoflow (Ivoclar Vivadent, Schaan, Principado do Liechtenstein)
- RVG HDR-500/600 (Handy, Xangai, China)
- Salicilato de metilo (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha)
- Seringa 24ml (Clínica Universitária Egas Moniz, Caparica, Portugal)
- SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versão 23.0 para Windows (IBM, Nova Iorque, Estados Unidos da América)
- Verniz de unhas (Essence, Sulzbach, Alemanha)

3.2. Metodologia

3.2.1. Aspectos Éticos

Este projeto foi aprovado pela Comissão de Ética do Instituto Universitário Egas Moniz segundo o processo nº IMP-EM-PE-18_02 (anexo). Todos os dentes utilizados nesta pesquisa foram adquiridos junto ao Banco de Dentes Humanos da Clínica Universitária Egas Moniz ou em clínicas da região de Lisboa onde os pacientes assinaram um consentimento informado antes da doação dos dentes.

3.2.2. Descrição da amostra

Para a realização deste estudo foram escolhidos 30 dentes monoradiculares (incisivos centrais e laterais superiores, caninos e pré-molares) extraídos de humanos por motivos ortodônticos ou periodontais. Após a extração, foram radiografados nos sentidos vestibulo-lingual e mesio-distal (figura 1) para verificação dos critérios de inclusão.

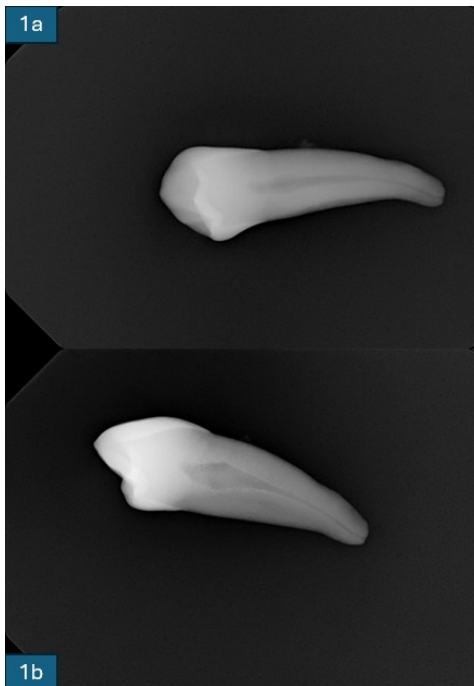


Figura 1 : Radiografias periapicais nos sentidos vestibulo-lingual (1a) e mésio-distal (1b) do espécimen nº5 em posição vertical.

3.2.3. Critérios de inclusão

Foram selecionados dentes que preencherem os requisitos que são :

- com raízes completamente formadas e retas (curvatura até 5°) ;
- com um canal radicular tipo I da classificação de Vertucci
- sem história de tratamento endodôntico prévio;
- sem calcificações;
- sem lesões de cárie (radiculares ou coronárias)
- Foram excluídos os dentes que foram extraídos sem serem conservados de maneira a permanecer hidratados.

Após a extração, os dentes foram submetidos a uma destartarização ultrasónica (Woodpecker, Guilin, China) para remoção de todos os resíduos de tártaro e de tecidos moles com a ajuda de curetas Gracey (Asa dental, Lucca, Itália) (figura 2).



Figura 2 : Desbridamento da superfície radicular externa com curetas Gracey

Após serem desbridados mecanicamente foram desinfetados numa solução de hipoclorito de sódio a 5.25% (Clínica Universitária Egas Moniz, Caparica, Portugal) durante 5 minutos. Após a sua extração foram conservados numa solução de formalina neutra tamponada a 10% (Grupo Erviegas, Indaiatuba, Brasil), num recipiente plástico fechado identificado segundo o número da amostra, até ao momento da sua utilização (figura 3).



Figura 3 : Frasco com tampa roscada para guardar as amostras no formol, cada frasco foi devidamente identificado com o número de referência de cada amostra

3.2.4. Tratamento endodôntico

3.2.4.1. Padronização da amostra

Para padronizar o comprimento dos canais dos dentes e facilitar o acesso endodôntico, marcou-se o dente com um lápis à 2mm e 14mm a partir do ápex. A seguir, seccionaram-se os dentes segundo as marcas com um disco diamantado (Torino dental, Turim, Itália) montado numa peça de mão (Apple Dental, Guangdong, China) de maneira que o comprimento do remanescente fosse de 12mm (figura 4).

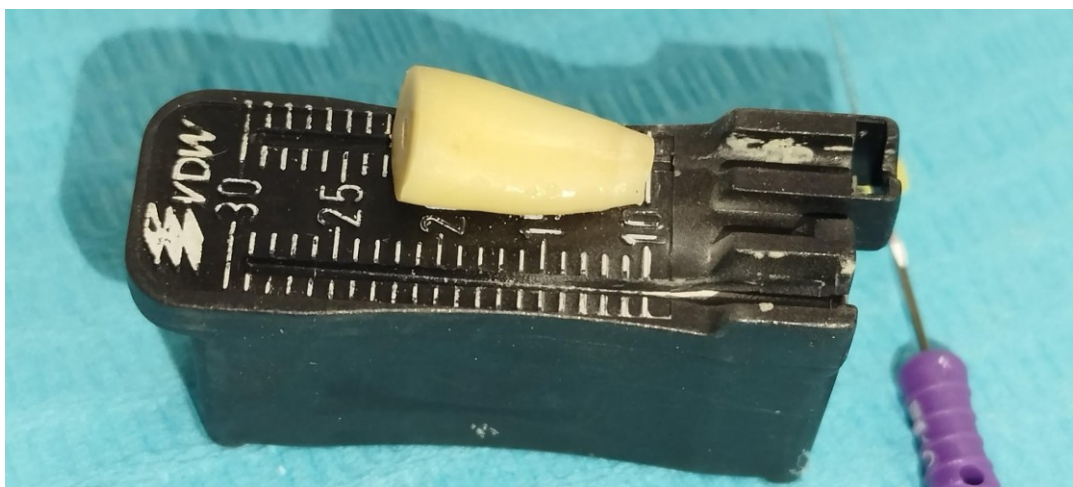


Figura 4 : Especimen nº1 após ser seccionado com o disco diamantado sobre a régua endodôntica mostrando a padronização de 12mm de comprimento radicular.

3.2.4.2. Preparação químico-mecânica do canal

Após a seleção, os dentes foram submetidos a um preparo biomecânico dos canais radiculares.

Todos os espécimes tiveram uma lima inicial de #20K (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). O comprimento de trabalho de cada dente foi obtido através da inserção de uma lima #10K até ela ser visível no extremo apical, subtraindo-se 0,5mm à medição aferida. (figura 5).

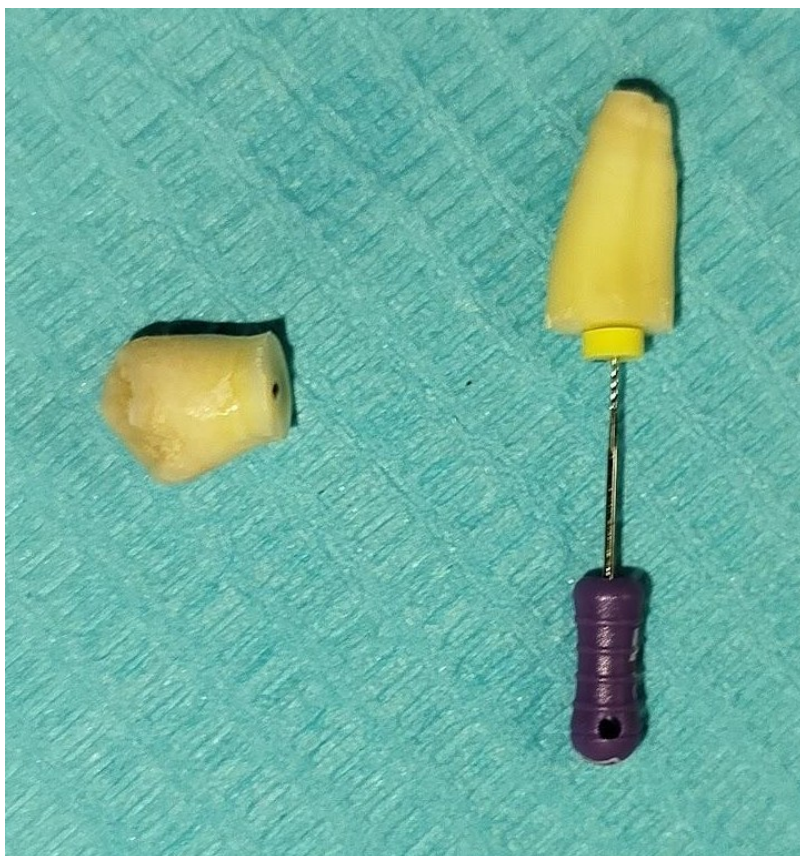


Figura 5 : Medição do comprimento de trabalho com uma lima manual K#10 até ultrapassar o ápex.

Foi feita a instrumentação com a ajuda do micromotor Woodpecker Endo Radar Plus (Woodpecker, Guilin, China) e as limas mecânicas ProTaper® Universal Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) até F2 (figura 6).

Durante toda a instrumentação, a cada troca de instrumento, os canais foram irrigados com 2 mL de solução de hipoclorito de sódio a 5.25% (Clínica Universitária Egas Moniz), com auxílio de uma seringa *Luer-Look* (Clínica Universitária Egas Moniz, Caparica, Portugal) (figura 7).

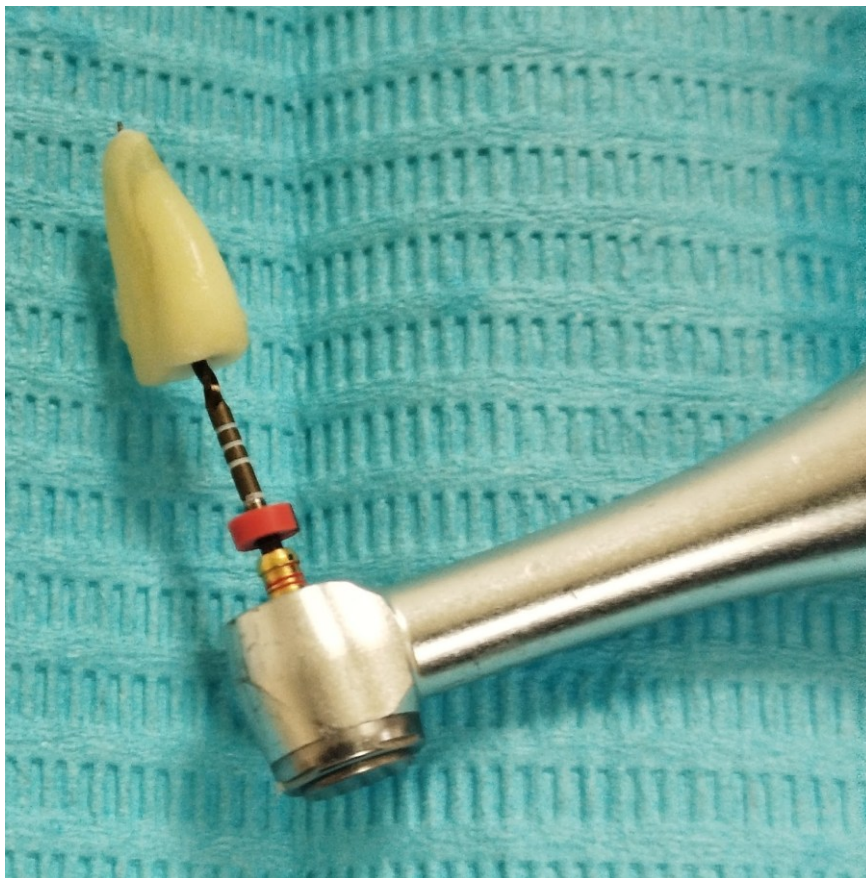


Figura 6 : Instrumentação dum espécimen com um micromotor e a lima mecânica F2 do sistema Protaper Gold



Figura 7 : Irrigação com hipoclorito de sódio a 5,25% com a ajuda duma agulha com abertura lateral
Usou-se uma broca de Peeso (Torino Dental, Turim, Itália) de tamanho nº01 e de

cumprimento 28mm que criou um canal cilíndrico com paredes paralelas (figuras 10 e 11).



Figura 8 : Brocas de Peeso de tamanho 1 e de 28mm de comprimento



Figura 9 : Paralelização das paredes do canal dum espécimen com broca de Peeso montada num contra-ângulo

3.2.4.3. Abertura apical

De maneira a padronizar a abertura artificial apical destes dentes, foi calibrada uma broca de tronco-cônica (Torino dental, Turim, Itália) a 80 com o calibrador de guta-percha

(Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) com verniz transparente (Essence, Sulzbach, Alemanha) (figura 12). Após a introdução da broca dentro do poço correspondente a um diâmetro de 80, foi aplicada uma camada espessa de verniz transparente na extremidade que ia ficar exterior ao dente. Deixou-se secar o verniz durante uma hora e extraíu-se a broca da régua de modo a verificar uma zona de transição bem visível que nos serve de stop.



Figura 10 : Calibração da broca de tronco-cônica diamantada com verniz transparente (a) colocando numa régua calibradora de guta-percha a broca na poço 80 (b) e aplicando uma camada espessa de verniz transparente na extremidade que não ia entrar no dente (c) de maneira a obter uma marca franca na broca na zona onde o diâmetro está de 80 (d).

Com a técnica de preparação apical retrógrada, criou-se divergência das paredes canais apicais (figura 11).

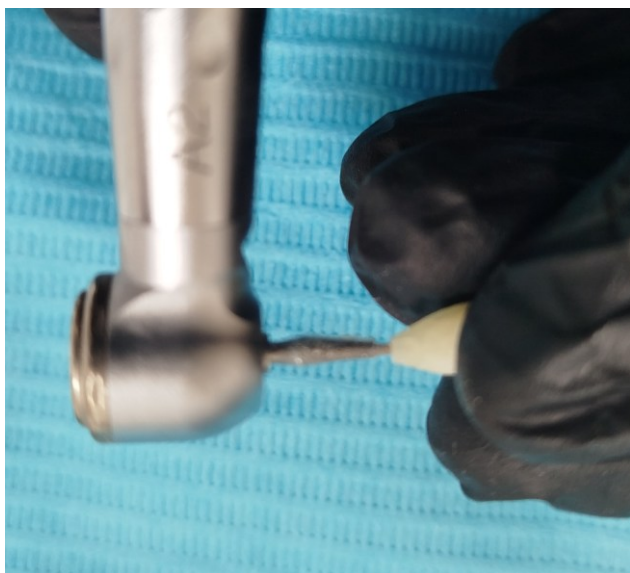


Figura 11 : Preparação apical retrógrada dum espécimen com a broca tronco-cônica previamente calibrada a 80 montada numa turbina

Depois da instrumentação, os canais foram secados com cones de papel (Dentaspily Sirona, Ballaigues, Suíça) e foi feita uma radiografia para verificar que a instrumentação seja bem feita (figura 12).

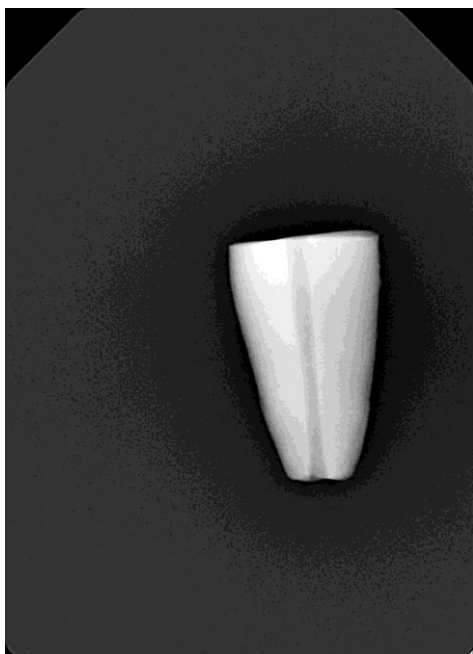


Figura 12 : Radiografia depois da instrumentação do espécimen n°1 em posição anatômica

3.2.4.4. Divisão dos Grupos experimentais

Após a preparação químico-mecânica dos dentes, os espécimes foram distribuídos de uma forma randomizada em 3 grupos com a ajuda de um *software online* (tabela 1) : [Random Group Generator: criador de grupo aleatório online gratuito | RAKKOTOOLS](#).

Tabela 1 : Distribuição dos espécimes em função dos grupos com a ajuda de um software online

Grupo controlo (nº do espécimen)	Grupo 1 (nº do espécimen)	Grupo 2 (nº do espécimen)
26	4	12
28	22	25
8	30	15
5	24	6
29	27	1
20	17	13
2	18	21
3	16	19
14	7	23
11	9	10

Grupo I – Grupo de 10 dentes obturados com uma barreira apical de espessura de 4mm com NeoMTA 2 em consistência compacta (uma medida de pó para uma gota de hidrogel) e o resto do canal com NeoMTA 2 em consistência fluída e gutta percha.

Grupo II – Grupo de 10 dentes obturados com uma barreira apical de espessura de 2mm com NeoMTA 2 em consistência compacta e o resto do canal com NeoMTA 2 em consistência fluída e gutta percha.

Grupo controlo - Grupo de 10 dentes que serve para controlo, os dentes são obturados sem cimento e com gutta percha. Será dividido em dois grupos de 5 dentes que servem por controle positivo e negativo (tabela 2).

Tabela 2 : Tabela da repartição aleatória dos espécimes do grupo controlo em função do grupo de controlo, negativo ou positivo, obtida com um software online

Controlo positivo (nº do espécimen)	Controlo negativo (nº do espécimen)
2	3
5	8
11	14
20	26
29	28

3.2.4.5. Obturação

Para o grupo controlo, selecionou-se um cone de guta principal de 2ª série Dia-ProT (Diadent, Amsterdão, Países-Baixos) (diâmetro concordante com o diâmetro apical do canal), o qual consegue atingir o comprimento de trabalho e é constatada alguma resistência a desinserção. Efetuou-se radiografia, com o cone de guta principal. Foi preparado o cimento NeoMTA2 (Avalon Biomed, Houston, Estados-Unidos de América) numa placa de vidro (Clínica Universitária Egas Moniz, Caparica, Portugal) de acordo com as instruções do fabricante até obter uma consistência de área para conseguir o compactar (figuras 17, 18 e 19). Na realização das barreiras apicais o material foi preparado com uma medida de pó e uma gota para que a preparação seja de consistência espessa e facilitar a compactação no canal. A boa consistência foi atingida quando se conseguiu fazer uma bola mole mas não colante (figura 15) com o material preparado.



Figura 13 : Material de obturação utilizado.



Figura 14 : Preparação do cimento de acordo com as instruções do fabricante, uma medida de pó e 2 gotas de hidrogel.



Figura 15 : A textura ideal recomendada pelo fabricante pela realização de barreira apical devia ser arenosa, de maneira a conseguir criar uma bola maleável mas não colante

Colocou-se o cimento biocerâmico Neo MTA 2 com auxílio dum *plugger* fino (Asa Dental, Lucca, Itália) no canal. Numa primeira etapa, calibrou-se o *plugger* de acordo com o tamanho da barreira apical a realizar. Assim, sustraiu-se do comprimento de trabalho de cada espécimen o tamanho da barreira apical a fazer (2 ou 4mm). Utilizou-se uma borracha de lima manual para marcar o comprimento desejado. (figura 16)

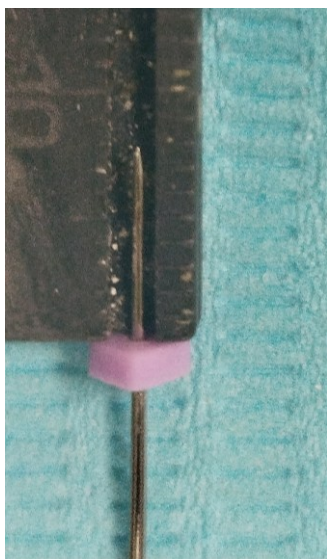


Figura 16 : Calibração do plugger em concordância com o tamanho das barreiras apicais a realizar com a ajuda duma régua endodôntica utilizando uma borracha de lima endodôntica manual para marcar o comprimento desejado

Em segundo lugar, segurou-se o dente de maneira a fazer pressão com um dedo na extremidade apical de maneira a evitar extravasar material durante a aplicação de cimento. Com o *plugger* previamente calibrado à boa medida introduziu-se cimento preparado em pequenos incrementos até sentir resistência na inserção do *plugger* (figura 17).



Figura 17 : Colocação do NeoMTA 2 com a ajuda dum plugger fino calibrado a boa medida

A seguir foi feita uma radiografia para verificar a altura e a boa compactação da barreira apical (figura 18). Se for necessário, foram eliminados os excessos nas paredes com o *plugger* de maneira a obter uma barreira apical bem compactada e que não impede a entrada do cone para o próximo passo.

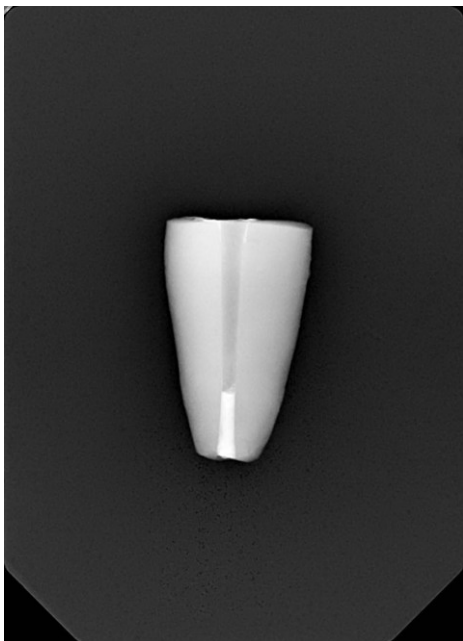


Figura 18 : Controlo radiográfico da barreira apical de 4mm do espécimen n°22 em posição anatómica

De seguida, foi feita a obturação segundo a técnica do cone único. Adaptou-se o cone principal tirando os excessos com um calibrador de guta-percha tomando em conta o diâmetro padronizado do canal de 0,80mm. Tirou-se uma radiografia para verificar a adaptação do cone ao canal (figura 19).

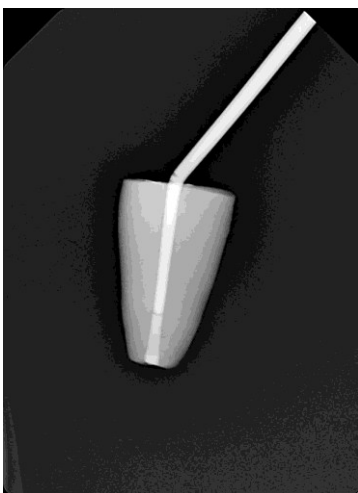


Figura 19 : Radiografia com o cone principal do espécimen n°22 em posição anatómica

Revestiu-se o cone de guta principal com uma camada fina de cimento NeoMTA2 preparado de maneira a que seja mais fluido do que para realizar as barreiras apicais, misturou-se uma medida de pó com quatro gotas de gel. (figura 20)



Figura 20 : Cone de guta principal revestido com uma camada fina de cimento NeoMta2 em consistência de xarope

Introduziu-se o cone principal no canal lentamente. O *plugger* foi aquecido na chama duma lamparina (Clínica Universitária Egas Moniz, Caparia, Portugal) até o metal ser de cor vermelho/laranja sendo o sinal que a temperatura na ponta permite cortar a guta de maneira eficaz. (figura 21) Uma vez que foi atingida uma temperatura suficiente à extremidade do *plugger* cortou-se o excesso de guta-percha foi à entrada do canal de maneira a conseguir o-tapar e quando o *plugger* esfriou-se (com controlo tátil e visual, quando a extremidade do *plugger* não queima e que o metal voltou a ser de cor prateada) compactou-se verticalmente a extremidade cortada da guta percha de modo a favorecer o preenchimento homogêneo e tridimensional do canal.

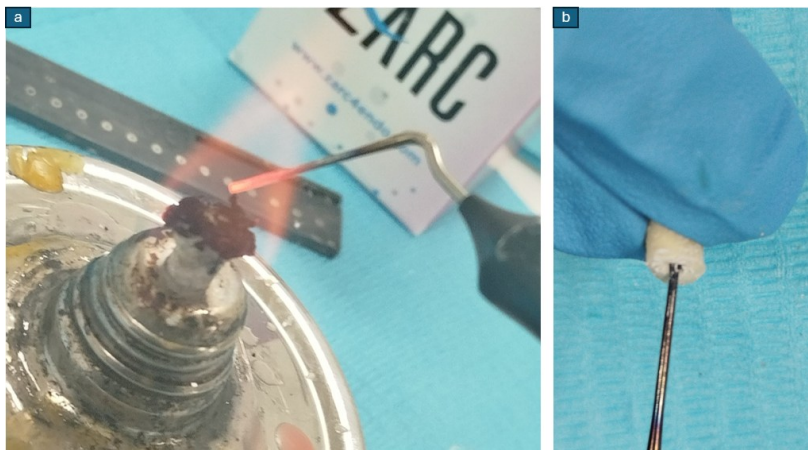


Figura 21 : Aquecimento do plugger para cortar o excesso de gutta percha (a) e utilização do plugger uma vez que ele esfriou-se para compactar verticalmente a guta (b)

Após obturação dos canais, foi realizado o controlo radiográfico para confirmar a completa

e homogênea obturação radicular. (figura 22)

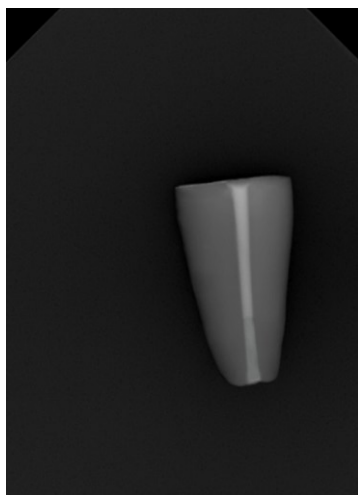


Figura 22 : Controle radiográfico da qualidade da obturação do espécimen nº22 em posição anatômica

3.3. Teste de infiltração apical

3.3. 1 Impermeabilização dos Remanescentes Radiculares

Na extremidade coronal do canal foi colocado com um microbrush uma fina camada de adesivo Scotchbond universal (3M Health, Solventum, Maplewood, EUA) (figura 23); depois de ser espalhado com ar, foi fotopolimerizado durante 20 segundos, em seguida foi aplicada Resina Flow Ivoclar (Ivoclar Vivadent, Schaan, Principado do Liechtenstein) de maneira a proteger a parte de dentina exposta (figura 23).

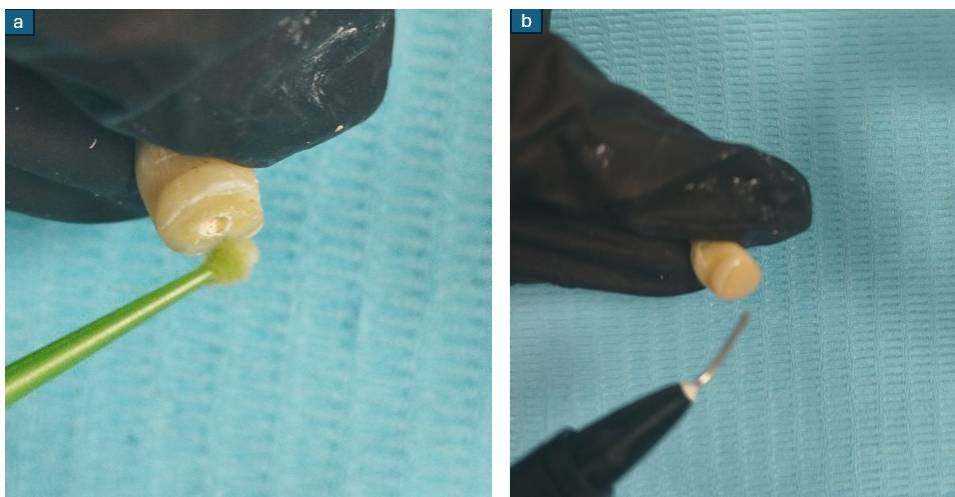


Figura 23 : Impermeabilização da extremidade coronal através da aplicação de adesivo Scotchbond universal em camada fina com uma microbrush (a) e recobrimento da dentina exposta com resina Flow após a fotopolimerização do adesivo (b)

Após a obturação, todas as raízes foram impermeabilizadas com três camadas de verniz (Essence, Sulzbach, Alemanha) até 2 mm da extremidade apical garantir que a única via de infiltração do corante seja através do forâmen apical modificado. Nos 5 dentes do controlo negativo, o verniz cobre a superfície toda do dente. (figura 24)



Figura 24 : Todos os dentes foram dispostos numa folha de papel (a) e foram imobilizados com fita adesiva cobrando 2 mm da extremidade apical (a exceção do grupo de controlo negativo) controlando este valor com uma régua (b) e recobram-se os dentes com três camadas de verniz no comprimento restante do dente recobrando a totalmente a extremidade coronal de modo a obter uma espessa camada de verniz após secagem em toda esta superfície deixando livre os 2mm apicais recobertos por fita adesiva (c)

3.3.2 Montagem do Dispositivo para o teste de infiltração

Cada dente foi colocado num recipiente plástico (loja chinesa, Lisboa, Portugal ; Clínica Universitária Egas Moniz, Caparica, Portugal) identificado com o número relativo a cada espécimen. De modo a acentuar a ação da força de gravidade, cada espécimen foi posicionado em posição vertical, sendo o ápex orientado para cima. Preenchiu-se cada frasco de maneira que a raiz fosse inteiramente submergida na solução de azul de metileno a 1% (Laboratório de investigação Egas Moniz, Caparica, Portugal) (figura 25).

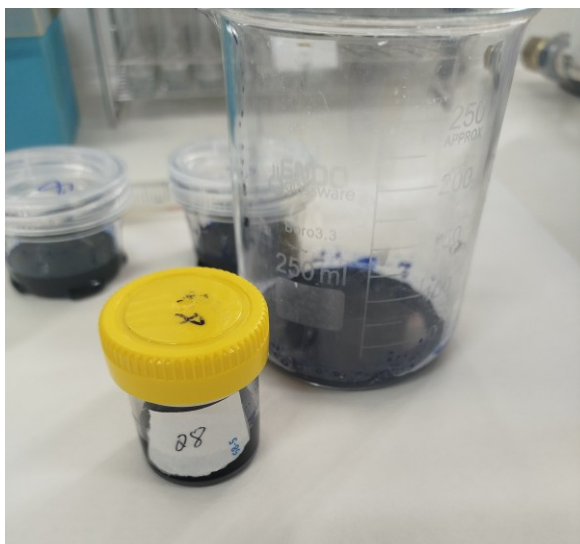


Figura 25 : Imersão dos dentes posicionados em posição vertical dentro de frascos identificados preenchidos com azul de metileno até recobrir inteiramente cada espécimen.

Os recipientes foram colocados na estufa (Memmert, Büchenbach, Alemanha) mantida a uma temperatura constante a 37°C de maneira a reproduzir a temperatura fisiológica do corpo humano. Os espécimes ficaram mantidos a temperatura e nível de corante constantes durante 3 dias. (figura 26).



Figura 26 : Colocação das amostras na estufa parâmetrada para ter uma temperatura constante de 37°C, durante 3 dias tem se mantido o nível de corante suficiente de modo a recobrir inteiramente cada espécimen.

Após este período, os dentes foram retirados do azul de metileno com uma pinça de observação (Clínica Universitária Egas Moniz, Caparica, Portugal) (figura 27), lavados abundantemente com água corrente até a água de lavagem voltar a ser de cor normal. Secou-se cada espécimen com uma folha de papel absorvente (Clínica Universitária Egas Moniz, Caparica, Portugal) e foi removido o verniz com uma lâmina de bisturi 12 (Clínica Universitária Egas Moniz, Caparica, Portugal). Após este passo, os espécimes foram envolvidos em discos de algodão (Wells, Matosinhos, Portugal) e armazenados nos respectivos recipientes plásticos previamente lavados do corante e secados com papel.

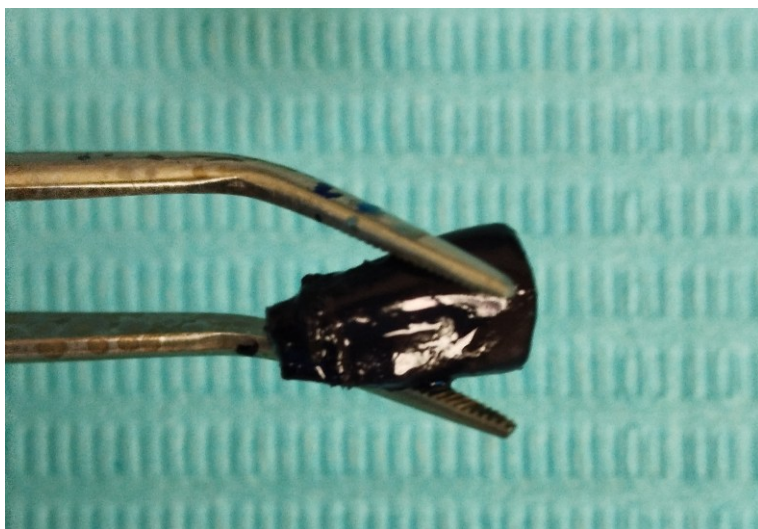


Figura 27 : Especimen logo após ser removido do corante com a ajuda duma pinça de observação

3.4. Diafanização

Para avaliar a infiltração do corante foi realizada uma diafanização. Os dentes foram colocados em recipientes de polipropileno com tampa rosqueável de 50mL (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha) devidamente identificados preenchidos com 30mL de ácido nítrico a 5% e três vezes ao dia os frascos foram agitados sendo substituído o ácido todos os dias de maneira a conservar uma desmineralização ativa. Após três dias de desmineralização no ácido, enviou-se os recipientes do ácido e as amostras foram limpas do ácido com água destilada (Laboratório de investigação Egas Moniz, Caparica, Portugal) e colocadas em água durante 3 horas. Após este período, enviamos de novo os frascos com álcool (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha) com concentrações progressivamente mais elevada. Assim os dentes ficaram no álcool 80% durante 3h, seguidamente com álcool a 90% durante 3h

até chegar a álcool a 100% e ficaram nesta solução durante uma noite. Após este passo de desidratação, os frascos foram novamente envaziados e colocou-se o agente clarificante, o silicilato de metilo (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha). (figura 28)

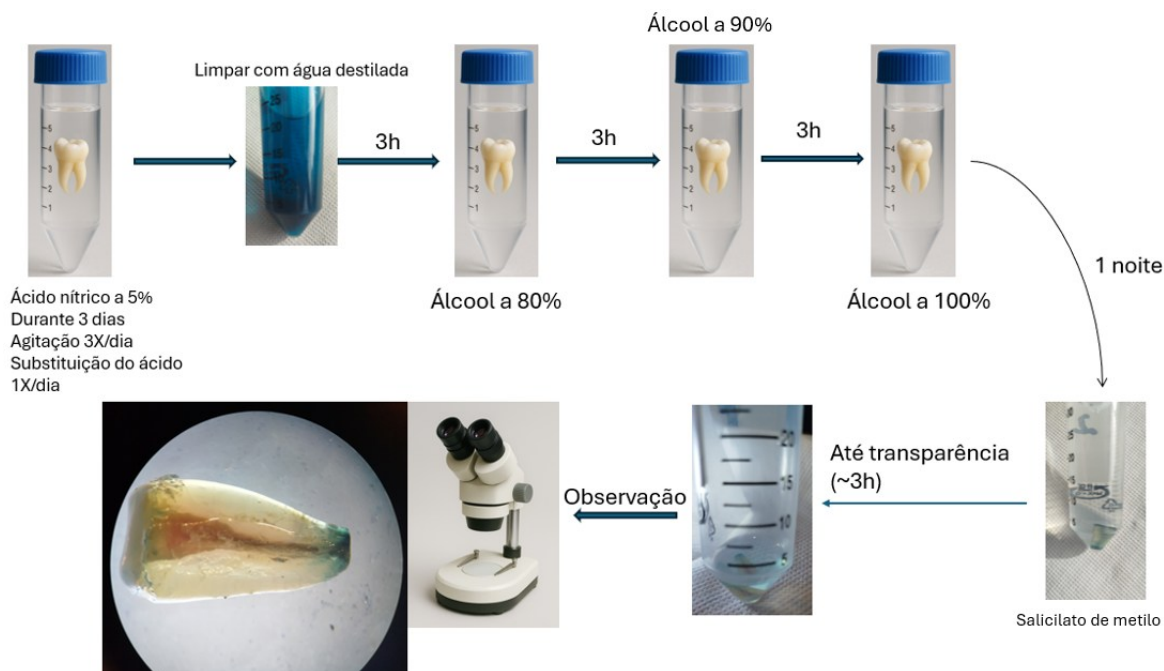


Figura 28 : Esquema recapitulativo do protocolo da diafanização

Após ser obtida a transparência suficiente dos dentes, cerca de três horas após a imersão em salicilato de metilo, observou-se as amostras com uma lupa binocular (WILD Heerbrugg, Heerbrugg, Suíça) em magnificação X6 para visualizar a infiltração. Os dentes foram colocados numa placa de vidro depolido para permitir um contraste entre a superfície da lupa e o dente (figura 29), e foi colocada uma fonte de luz de maneira a acentuar o contraste entre a cor da zona infiltrada e da zona “sã”. Durante a observação foram tomadas fotografias. (figura 30)



Figura 29 : Dispositivo de observação da amostra na lupa binocular

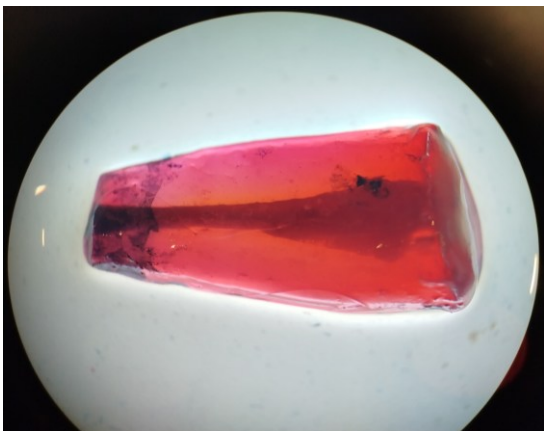


Figura 30 : Observação duma amostra à lupa binocular

As fotografias foram estudadas com a ajuda do *software online* Explo360 de tratamento de imagens de maneira a que o dente servisse de escala (figura 35). Assim, conseguiu se determinar um valor a penetração do corante em cada amostra e os dados obtidos foram introduzidos numa folha de cálculo em Excel.

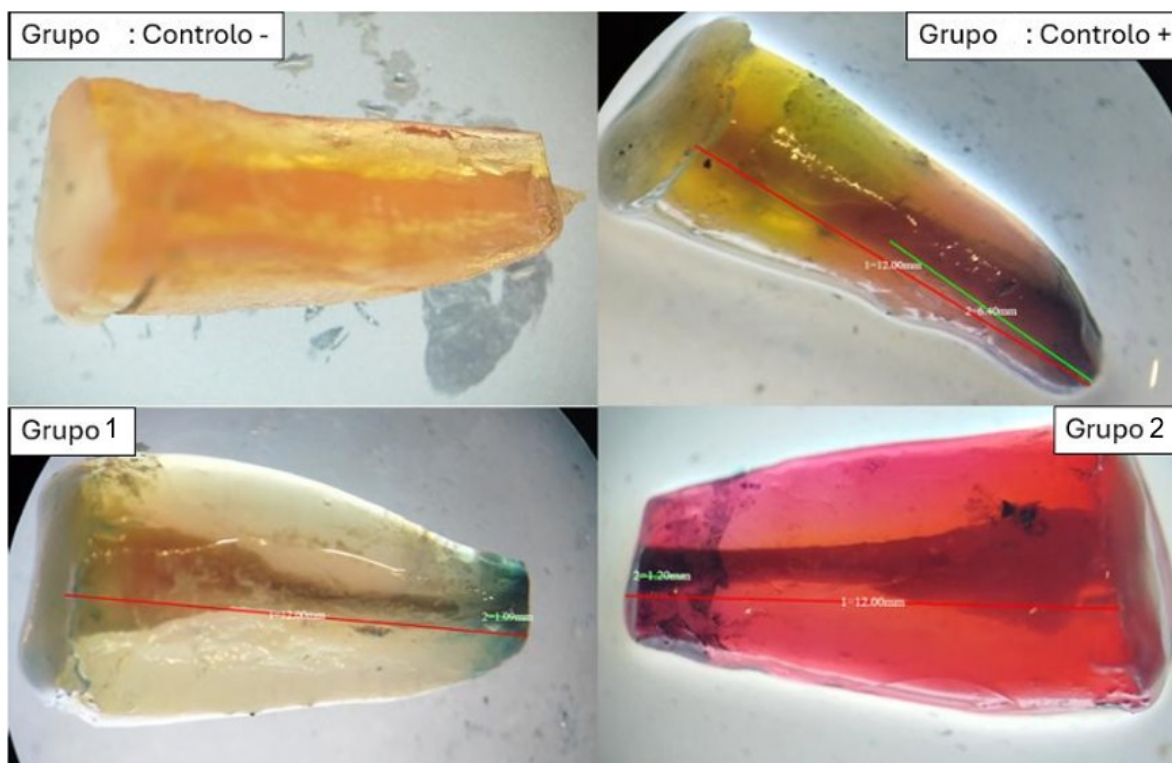


Figura 31 : Medição dos resultados obtidos em cada grupo (o traço vermelho mede 12mm)

3.5. Forma de Análise dos Resultados

A análise estatística foi efectuada com recurso ao software de análise estatística SPSS versão 23.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, EUA). Após se ter verificado que as variáveis seguiam uma distribuição normal, com recurso ao Teste ANOVA, utilizou-se o Teste post-hoc de Tukey HSD para comparar a infiltração apical entre os grupos. Foi estabelecido um nível de significância de $p < 0,05$.

4. RESULTADOS

Nenhum dos grupos conseguiu um selamento apical completo. O grupo de estudo que infiltrou mais foi o G1 (barreiras apicais de 4mm) com uma média de 1,57mm e onde se observou menor penetração de corante foi no G2 (barreiras apicais de 2mm) com uma média de 1,11mm como pode ver na tabela 3. Contudo, esta diferenças não são significativas ($p = 0.754$) (tabela 3).

Tabela 3 : Resultados das medições da infiltração apical (em mm) para cada grupo e estudo da repartição dos valores

	Média (em mm)	p
G1 (4mm)	1,57	0,754
G2 (2mm)	1,11	

Como pode se observar na figura 32, a mediana do G1 foi 1,58mm e a do G2 foi 1,22mm. Os valores do G1 estão contidos dentro do intervalo de 1,91mm e 1,23mm sendo os valores extremos 2,38mm e 0,67mm. Para o G2, estes valores situam-se dentro do intervalo de 1,41mm e 0,82mm sendo os valores extremos 1,69mm e 0,31mm.

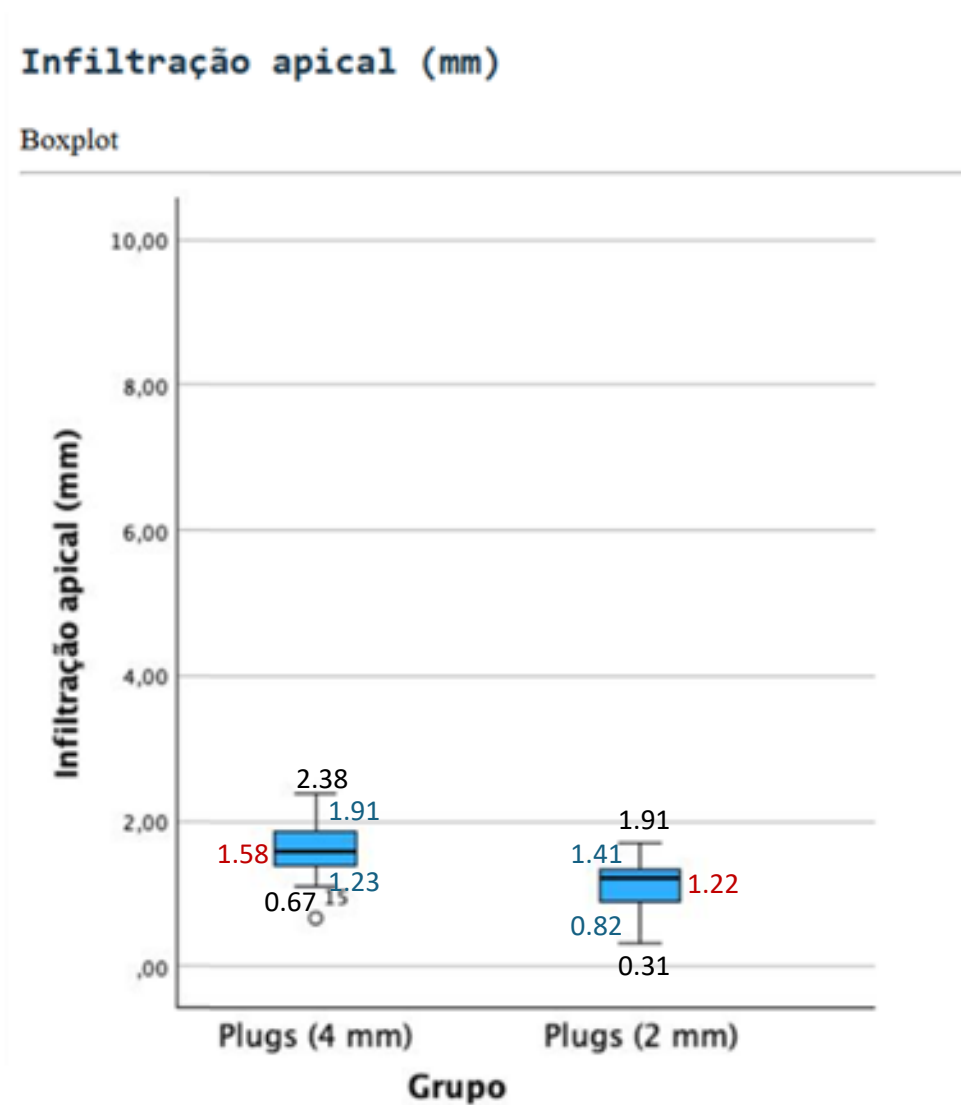


Figura 32 : Gráfico de caixa da repartição dos valores em cada grupo

5. DISCUSSÃO

Apesar de ter muitos avanços na área dos materiais dentários, eliminar totalmente as infiltrações na extremidade apical não é alcançável por causa das múltiplas variações anatómicas possíveis nesta região. (79)

Assim, avaliámos a capacidade de selamento apical do cimento NeoMTA 2 em dentes com ápices abertos. O nosso modelo experimental *in vitro* consistiu em dentes com ápices fechados instrumentados de maneira a simular dentes com raízes imaturas. Neste estudo, os 30 dentes foram seccionados apicalmente a 2 mm e descoronados de maneira a que tinham um comprimento de trabalho de 12mm como foi recomendado por Sultana e al.(80) Foi utilizada uma broca de Peeso de tamanho 1 de maneira a criar paredes canulares paralelas e abrir o ápex. A broca diamantada tronco-cônica, calibrada a 0.80mm, que foi usada com a instrumentação retrógrada, criou um ápex em forma de “funil”. A padronização da amostra serve para homogeneizar e limitar os bias ligados aos tamanhos de dentes diferentes. (52) Este modelo produziu uma anatomia estandardizada e reprodutível que replica *in vitro* as características radiculares essenciais de dentes com ápices abertos.

A capacidade dos materiais de obturação de criar um selamento apical hermético pode ser avaliada através de diversos métodos como a filtração de fluidos, a penetração de corante ou a microscopia electrónica de varrimento entre outros. Entre estas técnicas, a utilização de corantes orgânicos, especialmente o azul de metileno, constitui um método tradicional e amplamente utilizado na avaliação da microinfiltração. (71) Esta técnica passiva, simples e de baixo custo baseia-se na penetração do corante entre as interfaces dos materiais de obturação e a dentina radicular. Apesar de ser uma técnica muito utilizada, existe uma real falta de estandardização dos protocolos, como foi sublinhado especialmente por Veríssimo e Vale, o que pode conduzir a uma grande variação nos resultados obtidos dentro dos estudos existentes. (71) Também é de relembrar que estudos que relevam na penetração de corantes implicam a necessidade de destruir os espécimes e uma avaliação subjetiva dos resultados que fornece resultados semiquantitativos.(52) Contudo, mesmo tendo limitações, de acordo com Pereira e al. estes estudos são relevantes e permitem situar a capacidade de selamento dos materiais avaliados.(52)

Grossman foi pioneiro na aplicação da penetração de corantes para detectar infiltrações em

materiais de restauração provisória (80), sendo posteriormente Stewart a usar o azul de metileno no estudo da microinfiltração.(81) O uso deste corante como agente traçante tem como grande vantagem de possuir um peso molecular baixo que mimetiza alguns subprodutos bacterianos como o ácido butírico, conhecido por ter a capacidade de penetrar profundamente nas estruturas dentárias e, assim de ser de difícil eliminação mesmo com técnicas de desinfecção químico-mecânicas rigorosas.(52,82) Esta propriedade pode, no entanto, também ser desvantajosa como foi sublinhado num estudo de Roy e al. que relata que este corante, por ter um tamanho de partículas em solução muito pequeno, pode levar à sobreestimação da infiltração e consequentemente a possíveis falsos positivos.(82) Outras vantagens deste corante é o facto de se revelar particularmente eficaz por ser rapidamente absorvido, não reagir com os tecidos duros e apresentar elevada visibilidade sob luz direta.(83,84) A duração da imersão das amostras em corante pode variar entre um dia e seis meses em função dos estudos.(82,85) No presente estudo, as amostras foram imersas em azul de metileno durante 72 horas.

Assim, neste estudo, de modo a determinar se o NeoMTA 2 proporcionava um selamento adequado na realização de barreiras apicais avaliou-se a hermeticidade do selamento apical com este material através do teste de infiltração de corante, que é um teste fácil a realizar e que fornece resultados fiáveis. (82) Após a imersão em corante, os dentes foram submetidos a uma diafanização de maneira a identificar o ponto máximo da infiltração com precisão como esta técnica apresenta a vantagem de tornar as amostras transparentes e, assim, possibilitar a observação tridimensional do canal obturado. A diafanização permite observar o ponto de penetração máxima do corante duma maneira mais precisa do que pela realização de cortes longitudinais ou transversais. Apesar de não fornecer dados volumétricos sobre a quantidade total de corante dentro do dente, esta abordagem é considerada semi-quantitativa, qualitativa e útil na avaliação linear da penetração, ainda que não revele a área total afetada.

A diafanização é uma técnica exigente mas que apresenta a vantagem de não necessitar material de elevado custo. Apesar de existir em vários estudos na literatura onde foi utilizada a diafanização, não existe nenhuma padronização do protocolo. (86) No entanto é uma técnica onde o principal passo crítico localiza-se na desmineralização das amostras.

Sendo importante manter uma desmineralização constante, entram em conta as condições experimentais nomeadamente a temperatura do local de realização do ensaio, a concentração do ácido e a duração.

Para desmineralizar o dente, deve-se utilizar ácido. mas foi sublinhado num estudo de Cano e al. que o ácido nítrico permitia resultados de melhor qualidade do que ácido fórmico.(87)

Para a obtenção duma desmineralização suficiente, na elaboração do nosso protocolo, realizámos testes prévios sobre dentes exteriores às amostras do ensaio para determinar os parâmetros optimais de modo a obter uma desmineralização suficiente nas condições experimentais disponíveis (temperatura ambiente de 16°C). Podendo variar às condições experimentais, nomeadamente ao nível da temperatura do local de realização do ensaio, é importante salientar que é de prima importância realizar testes prévios com concentrações de ácido diferentes. Além disso, é essencial vigiar regularmente a superfície das amostras, sendo aconselhável acompanhar esta observação visual com a observação tátil, usando uma sonda para verificar a rugosidade da superfície dentinária. Se for necessário com base nestas observações, será possível adaptar o protocolo. Para aumentar a atividade do ácido nítrico pode jogar sobre vários parâmetros como a agitação, a substituição regular do ácido, a temperatura e a concentração. (87) Um indicador fiável duma desmineralização suficiente é a perda do aspeto brilhante/liso que o dente podia ter ao início da protocolo.(87)

Na literatura, na fase de desidratação do dente o álcool etílico foi o mais utilizado. É uma substância que permite desidratar rapidamente e que é de relativamente baixa toxicidade. No entanto, para evitar distorções do tecido devido à contração deve-se aumentar de progressivamente às concentrações utilizadas. (87)

Na revelação da transparência do dente, pode usar-se como agente clarificante o salicilato de metilo. Foi reportado que este agente tem um índice de refração de 1,5369 que é semelhante ao da dentina e que assim permite uma boa visualização da anatomia interna do dente.(87) Em alternativa pode usar-se óleo essencial de Gaultéria, sendo ela composta de 95 a 100% de salicilato de metilo, permite obter com a mesma qualidade uma transparência dos tecidos duros. Foram experimentados outros óleos de imersão como o eugenol ou o xileno mas no estudo de Cano e al. os melhores resultados foram obtidos com salicilato de

metilo sendem ainda opacos a maioria dos espécimes deste estudo após imersão num óleo sintético.(87) É de salientar também que num estudo de Khan e al. foi enfatizado a elevada corrosividade do xileno.(88)

A observação da penetração do corante foi realizada sob ampliação X6, recorrendo a uma lupa binocular conforme o protocolo adotado neste trabalho. A observação forneceu imagens precisas e de boa qualidade e o dispositivo permitiu dosear a luz de maneira a que se conseguia fazer a distinção entre as zonas coradas e o material obturador não infiltrado (especialmente para conseguir fazer a diferença entre o cimento que tem uma cor acinzentada após a sua presa o que pode dificultar a visualização do corante).

O fabricante do NeoMTA2 recomenda a aplicação de uma espessura entre 3 e 5mm de material nas apexificações em concordância com os estudos que tratam desta técnica, realizados com outros cimentos biocerâmicos, que mostraram que esta espessura era suficiente para alcançar um selamento apical adequado. (52) Optámos por investigar a capacidade de selamento deste material em duas espessuras diferentes : uma dentro das recomendações (4mm) e outra inferior (2mm) por dois motivos. Em primeiro lugar, a colocação do material através de uma cavidade de acesso, com pouca resistência no ápice, pode dificultar o controlo preciso da espessura. Em segundo lugar, a quantidade de material utilizada como barreira determina a profundidade máxima de adesão possível para reforçar internamente a raiz, maior for a barreira de biocerâmico, menor será o comprimento radicular disponível para adesão. (89) Este factor pode influenciar a resistência alcançável numa raiz imatura e curta. Os nossos resultados mostraram que a espessura das barreiras apicais de NeoMTA2 não teve impacto significativo na infiltração apical e que mesmo com espessuras de cimento diferentes não se conseguiu eliminar totalmente microinfiltrações apicais. Isso concorda com um estudo recente de Hristov e Bogovska-Gigova que sugere que alcançar uma compactação optimal do material utilizado para as barreiras apicais, consequentemente reduzir os *microgaps* dentro das zonas obturadas, é mais importante do que a altura da barreira apical em si e que assim melhorar as propriedades de manuseio dum material tinha significância no sucesso dum material para este tipo de tratamento. (90) No entanto, de acordo com o estudo de Harinkhere e al., parece que sendo concentradas 98% das ramificações apicais nos primeiros 3mm da raiz, é aconselhável alcançar barreiras

apicais de 2 a 5mm. (91) Neste estudo, ao contrário das nossas observações, foi reportado uma ligação estreita entre a resistência à microinfiltração apical e a espessura da barreira apical.(91)

Os cimentos biocerâmicos apresentam-se como materiais radioopacos e hidrofílicos, com capacidade de formar hidroxiapatite após a sua presa. Além disso, é importante lembrar que possuem a capacidade de formar uma ligação estreita com os microtúbulos dentinários das paredes canales e que assim são cimentos que conseguem criar um selamento adequado ao sucesso dos tratamentos endodônticos. São cimentos versáteis que, quando se apresentam sobre a forma de pó e líquido, permitem ao operador de dosar com as proporções de cada constituinte de maneira a obter a consistência e a quantidade desejada para o acto clínico, limitando os desperdícios.(52) Especialmente quando utilizados com a técnica do cone único, permitem obter um selamento hermético e são de fácil utilização. Assim têm vindo a ganhar uma aceitação crescente na prática endodôntica contemporânea.(79)

Por ser um cimento hidráulico, precisa de humidade para tomar presa ; moléculas de água saturam os espaços vazios entre as partículas desidratadas de material e assim perde a sua porosidade e fica mais estável no espaço.(90) Também participando a sua capacidade de selamento apical, é um cimento que ao tomar presa liberta iões de cálcio que estimulam a formação de hidroxiapatite que tem um papel crucial no processo de mineralização.(63) Este estudo de Rodríguez-Lozano e al. sublinha a biocompatibilidade deste cimento e a sua bioatividade estimulando as células estaminais responsáveis pela maturação radicular sem mostrar toxicidade. (63)

Na realidade clínica, podem ainda persistir microorganismos mesmo após uma desinfeção químico-mecânica rigorosa. O pH elevado do NeoMTA 2 limita o desenvolvimento de bactérias e assim é uma verdadeira vantagem para limitar o risco de recolonização pós-operatória da área tratada. (92) Consequentemente, esta propriedade do NeoMTA pode ter um papel na sua capacidade de selamento.

Sobre estas condições experimentais, todos os dentes, a excepção dos do controlo negativo que foram inteiramente recobertos por verniz, apresentaram infiltração apical. No grupo de controlo positivo, houve dentes onde se reparou pouca penetração de corante ; esta variação

pode ser explicada pela possível dissolução do azul de metileno durante o processo de diafanização como a ausência de selamento apical hermético podia deixar passar os agentes utilizados dentro da raiz durante este processo. (14)

No entanto, é importante lembrar que este estudo apresenta limitações que devem ser consideradas ao extrapolar os resultados para a prática clínica. Como se trata de um estudo *in vitro*, a microinfiltração observada nas amostras pode não refletir, com total precisão, a extensão real do fenómeno na cavidade oral, uma vez que esta é influenciada por vários factores, incluindo a dinâmica dos fluídos orais, as forças mastigatórias e possíveis interações com as soluções irrigantes. As amostras de dentes extraídos e o ambiente laboratorial podem não reproduzir fielmente as condições clínicas. Apesar destas limitações, os resultados sustentam que o NeoMTA 2 é um material que pode fornecer um excelente selamento apical e que constitua, assim, uma opção viável para a obturação de canais radiculares mesmo em dentes com ápices abertos. Durante este estudo, este material demonstrou uma boa capacidade de vedação e potencial para minimizar a infiltração apical, o que poderá traduzir-se na diminuição do risco de reinfeção e, assim, em ainda melhor taxa de sucesso do tratamento endodôntico. No entanto, apesar destes cimentos biocerâmicos serem amplamente reconhecidos pela sua boa aceitação com os tecidos orais, são necessários ensaios clínicos adicionais para avaliar o seu desempenho ao longo do tempo, especialmente em situações de retatamento ou preparação de espaço para pinos.

Para além disso, devem ser considerados fatores como a influência das forças mastigatórias, os ciclos térmicos e a interação deste cimento com irrigantes e medicamentos em condições *in vivo*. Investigações futuras deverão focar-se na análise destes aspectos através de estudos clínicos de longa duração e avaliações tomando em conta os possíveis *microgaps* utilizando este material com técnicas de obturação diferentes, de modo a validar a utilidade deste material na prática endodôntica de todos os dias.

Está aceiteada a hipótese nula (H0).

6. CONCLUSÃO

Nenhuma das espessuras testadas de barreira apical com NeoMTA2 conseguiu fornecer um selamento apical completo *in vitro*. No entanto, entre os grupos onde foram realizadas barreiras apicais de diferentes espessuras com este material não foram observadas diferenças significativas na penetração de corante.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Endodontische Diagnostik | Tief, tiefer, Foramen apicale - Zähne retten dank Endodontie | springermedizin.de [Internet]. [citado 7 de maio de 2025]. Disponível em: <https://www.springermedizin.de/endodontische-diagnostik/intraorale-untersuchung/tief-tiefer-foramen-apicale-zaehne-retten-dank-endodontie/26255914>
2. Endodontische Spülung | Spüllösungen zur Wurzelkanalinfektion | springermedizin.de [Internet]. [citado 7 de maio de 2025]. Disponível em: <https://www.springermedizin.de/endodontische-spuelung/endodontische-revision/spuelloesungen-zur-wurzelkanalinfektion/26706266>
3. Endodontische Aufbereitung | 30 Jahre Nickel-Titan-Wurzelkanalinstrumente | springermedizin.de [Internet]. [citado 7 de maio de 2025]. Disponível em: <https://www.springermedizin.de/endodontische-aufbereitung/endodontische-revision/30-jahre-nickel-titan-wurzelkanalinstrumente/50650784>
4. Aminoshariae A, Primus C, Kulild JC. Tricalcium silicate cement sealers: Do the potential benefits of bioactivity justify the drawbacks? J Am Dent Assoc 1939. agosto de 2022;153(8):750–60.
5. Savadkouhi ST, Bakhtiar H, Ardestani SE. In vitro and ex vivo microbial leakage assessment in endodontics: A literature review. J Int Soc Prev Community Dent. 2016;6(6):509–16.
6. Sritharan A. Discuss That The Coronal Seal Is More Important Than The Apical Seal For Endodontic Success. Aust Endod J. 2002;28(3):112–5.
7. Gaurav P, Harshita L, Vijeta P. Efficacy of Mineral Trioxide Aggregate Repair High Plasticity, Biodentine, and EndoSequence Root Repair Material Putty as Apical Barriers in Immature Permanent Teeth: An In Vitro Bacterial Leakage Study. J Contemp Dent Pract. 1 de setembro de 2022;23(9):872–6.
8. Chotvorarak K, Danwittayakorn S, Banomyong D, Suksaphar W. Intraradicular reinforcement of traumatized immature anterior teeth after MTA apexification. Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol. agosto de 2024;40(4):389–97.
9. Adl A, Sobhnamayan F, Shojaee NS, Tahmasebi Azad F, Bahmani M. Effect of Propylene Glycol on the Sealing Ability of Mineral Trioxide Aggregate and Calcium-Enriched Mixture Cement Apical Barriers. Iran Endod J. 2017;12(3):318–22.
10. Anthrayose P, Nawal RR, Yadav S, Talwar S, Yadav S. Effect of revascularisation and apexification procedures on biomechanical behaviour of immature maxillary central incisor teeth: a three-dimensional finite element analysis study. Clin Oral Investig. 1 de dezembro de 2021;25(12):6671–9.
11. Gill I, Mittal S, Kumar T, Keshav V. Open Apex and its Management: Review Article. J Pharm Bioallied Sci. fevereiro de 2024;16(Suppl 1):S31–4.
12. Camilleri J, Atmeh A, Li X, Meschi N. Present status and future directions: Hydraulic materials for endodontic use. Int Endod J. maio de 2022;55 Suppl 3(Suppl 3):710–77.

13. Omar N, Kabel NR, Masoud MA, Hamdy TM. Impact of different disinfection protocols on the bond strength of NeoMTA 2 bioceramic sealer used as a root canal apical plug (in vitro study). *BDJ Open*. 23 de setembro de 2024;10(1):1–6.
14. Jafari F, Jafari S. Importance and methodologies of endodontic microleakage studies: A systematic review. *J Clin Exp Dent*. junho de 2017;9(6):e812–9.
15. Patel M, Gangwar A, Sharma S, Naik S. Stereomicroscopic Evaluation of the Apical Sealing Ability of Different Root Canal Sealers (Endoseal, Apexit, MTA Fillapex, Ceraseal) Using Diaphanization Technique. *Int J Clin Pediatr Dent*. outubro de 2024;17(10):1135.
16. Louis H. Bearman KMH. Cohen's Pathways of the pulp. 12.^a ed. Elsevier Health Sciences; 2020. 1092 p.
17. Elimination of *Enterococcus faecalis* from root canal system using laser-activated nanoparticles: a systematic review | *springermedizin.de* [Internet]. [citado 17 de abril de 2025]. Disponível em: <https://www.springermedicine.com/link?doi=10.1007/s10103-023-03742-0>
18. Briseño-Marroquín B, Callaway A, Shalamzari NG, Wolf TG. Antibacterial efficacy of peracetic acid in comparison with sodium hypochlorite or chlorhexidine against *Enterococcus faecalis* and *Parvimonas micra*. *BMC Oral Health*. 9 de abril de 2022;22(1):119.
19. Ricucci D, Siqueira JF. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod*. agosto de 2010;36(8):1277–88.
20. Antibacterial effectiveness of multi-strain probiotics supernatants intracanal medication on *Enterococcus faecalis* biofilm in a tooth model | *springermedizin.de* [Internet]. [citado 17 de abril de 2025]. Disponível em: <https://www.springermedicine.com/link?doi=10.1186/s12903-023-02914-2>
21. Wurzelfülltechniken | Endodontie: Neue Materialien und bewährte Techniken | *springermedizin.de* [Internet]. [citado 7 de maio de 2025]. Disponível em: <https://www.springermedizin.de/wurzelfuelltechniken/zahnmedizin/endodontie-neue-materialien-und-bewahrte-techniken/17952796>
22. Swedish Council on Health Technology Assessment. Methods of Diagnosis and Treatment in Endodontics: A Systematic Review [Internet]. Stockholm: Swedish Council on Health Technology Assessment (SBU); 2010 [citado 14 de maio de 2025]. (SBU Systematic Reviews). Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK448020/>
23. Bourguignon C, Cohenca N, Lauridsen E, Flores MT, O'Connell AC, Day PF, et al. International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 1. Fractures and luxations. *Dent Traumatol*. 2020;36(4):314–30.
24. Digitale Volumetomographie | Was kann die dentale digitale Volumetomographie ? | *springermedizin.de* [Internet]. [citado 22 de maio de 2025]. Disponível em: <https://www.springermedizin.de/digitale-volumetomographie/digitale-volumetomographie/-was-kann-die-dentale-digitale-volumetomographie/27043448>
25. American Association of Endodontists. Periapical diagnoses [Internet]. 2025. Disponível em: https://www.aae.org/specialty/wp-content/uploads/sites/2/2025/07/PeriapicalTable_ForWeb07172025.pdf

26. Blake A, Tuttle T, McKinney R. Apical Periodontitis. Em: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [citado 4 de outubro de 2025]. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK589656/>
27. Laforgia A, Inchingolo AM, Inchingolo F, Sardano R, Trilli I, Di Noia A, et al. Paediatric dental trauma: insights from epidemiological studies and management recommendations. BMC Oral Health. 2 de janeiro de 2025;25(1):6.
28. Wang Y, Chang H, Chen C, Yang X, Quan M, Liao X, et al. Traumatic dental injuries in children and adolescents presenting to a tertiary children's hospital in Shenzhen, China. BMC Oral Health. 5 de julho de 2025;25(1):1102.
29. van der Vyver PJ, Vorster M, Buchanan GD. Apexification of dens evaginatus in a mandibular premolar: A case report. Clin Case Rep. 10 de maio de 2023;11(5):e07316.
30. Grazielle Magro M, Carlos Kuga M, Adad Ricci W, Cristina Keine K, Rodrigues Tonetto M, Linares Lima S, et al. Endodontic Management of Open Apex Teeth Using Lyophilized Collagen Sponge and MTA Cement: Report of Two Cases. Iran Endod J. 2017;12(2):248–52.
31. Wikström A, Brundin M, Lopes MF, El Sayed M, Tsilingaridis G. What is the best long-term treatment modality for immature permanent teeth with pulp necrosis and apical periodontitis? Eur Arch Paediatr Dent. 1 de junho de 2021;22(3):311–40.
32. Al-Rayesse R, Al-Jabban O, Eid A, Kabtoleh A, Addiego F, Mancino D, et al. Influence of Bioceramic Cements on the Quality of Obturation of the Immature Tooth: An In Vitro Microscopic and Tomographic Study. Bioeng Basel Switz. 23 de fevereiro de 2024;11(3):213.
33. AAE Position Statement on Vital Pulp Therapy. Journal of Endodontics, Volume 47, Issue 9, 1340 - 1344
34. Tsilingaridis G, Malmgren B, Andreassen JO, Malmgren O. Intrusive luxation of 60 permanent incisors: a retrospective study of treatment and outcome. Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol. dezembro de 2012;28(6):416–22.
35. A retrospective study of 889 injured permanent teeth - Hecova - 2010 - Dental Traumatology - Wiley Online Library [Internet]. [citado 5 de outubro de 2025]. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1600-9657.2010.00924.x>
36. Boufdil H, Mtalsi M, El Arabi S, Bousfiha B. Apexification with Calcium Hydroxide vs. Revascularization. Case Rep Dent. 27 de maio de 2020;2020:9861609.
37. Wei X, Yang M, Yue L, Huang D, Zhou X, Wang X, et al. Expert consensus on regenerative endodontic procedures. Int J Oral Sci. 1 de dezembro de 2022;14(1):1–13.
38. America Association of Endodontists. Clinical Considerations for a Regenerative Procedure [Internet]. 2018. Disponível em: https://www.aae.org/specialty/wp-content/uploads/sites/2/2018/06/ConsiderationsForRegEndo_AsOfApril2018.pdf
39. Murray PE. Review of guidance for the selection of regenerative endodontics, apexogenesis, apexification, pulpotomy, and other endodontic treatments for immature permanent teeth. Int Endod J. 2023;56(S2):188–99.

40. Ozbay G, Kitiki B, Peker S, Kargul B. Sposobnost apikalnog brtvljenja novog materijala: analiza filtracijskom tehnikom. *Acta Stomatol Croat*. 15 de junho de 2014;48(2):132–9.
41. Camilleri J. Current Classification of Bioceramic Materials in Endodontics. Em: Drukteinis S, Camilleri J, editores. *Bioceramic Materials in Clinical Endodontics* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2021 [citado 19 de agosto de 2025]. p. 1–6. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-58170-1_1
42. Vallet-Regí M. Bioceramics: from bone substitutes to nanoparticles for drug delivery. *Pure Appl Chem Chim Pure Appl*. abril de 2019;91(4):687–706.
43. AL-Haddad A, Che Ab Aziz ZA. Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. *Int J Biomater*. 2016;2016:9753210.
44. Gasner NS, Brizuela M. Endodontic Materials Used To Fill Root Canals. Em: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [citado 14 de maio de 2025]. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK587367/>
45. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dent Mater J*. 2020;39(5):703–20.
46. Ortega MA, Rios L, Fraile-Martinez O, Liviu Boaru D, De Leon-Oliva D, Barrera-Blázquez S, et al. Bioceramic versus traditional biomaterials for endodontic sealers according to the ideal properties. *Histol Histopathol*. março de 2024;39(3):279–92.
47. Cardinali F, Camilleri J. A critical review of the material properties guiding the clinician's choice of root canal sealers. *Clin Oral Investig*. agosto de 2023;27(8):4147–55.
48. Radwanski M, Piwonski I, Szmechtyk T, Sauro S, Lukomska-Szymanska M. Microstructural and Elemental Characterization of Calcium Silicate-Based Sealers. *Nanomaterials*. janeiro de 2025;15(10):756.
49. Zhekov KI, Stefanova VP. Definition and Classification of Bioceramic Endodontic Sealers. *Folia Med (Plovdiv)*. 31 de dezembro de 2021;63(6):901–4.
50. Albernaz Neves J, Bandeira Lopes L, Alves Duarte M, Mendes JJ, Pimentel T. Systematic review and meta analysis of first and second generation bioceramic materials in primary dentition pulpotomies. *Sci Rep*. 15 de maio de 2025;15:16939.
51. Physical, chemical and biological properties of MTA Angelus and novel AGM MTA: an in vitro analysis | [springermedizin.de](https://www.springermedizin.de) [Internet]. [citado 22 de outubro de 2025]. Disponível em: <https://www.springermedicine.com/link?doi=10.1186/s12903-025-05517-1>
52. Pereira IR, Carvalho C, Paulo S, Martinho JP, Coelho AS, Paula AB, et al. Apical Sealing Ability of Two Calcium Silicate-Based Sealers Using a Radioactive Isotope Method: An In Vitro Apexification Model. *Materials*. janeiro de 2021;14(21):6456.
53. Shaik I, Dasari B, Kolichala R, Doos M, Qadri F, Arokiyasamy JL, et al. Comparison of the Success Rate of Mineral Trioxide Aggregate, Endosequence Bioceramic Root Repair Material, and Calcium Hydroxide for Apexification of Immature Permanent Teeth: Systematic Review and Meta-Analysis. *J Pharm Bioallied Sci*. junho de 2021;13(Suppl 1):S43.

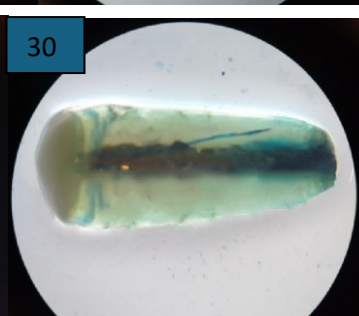
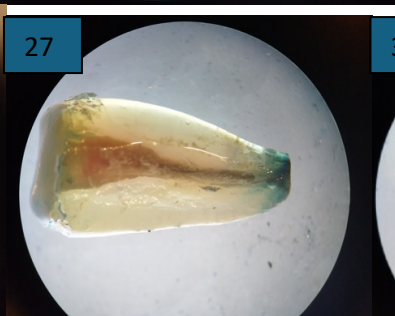
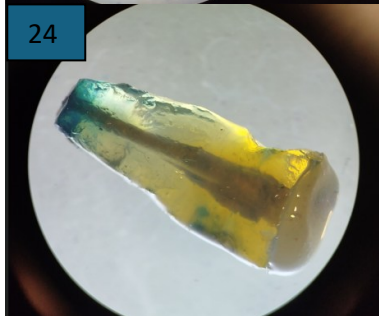
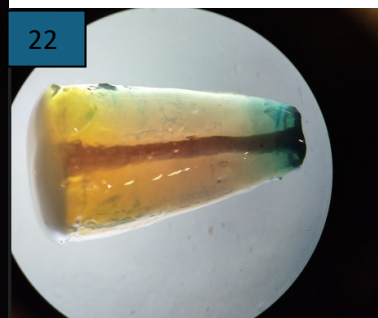
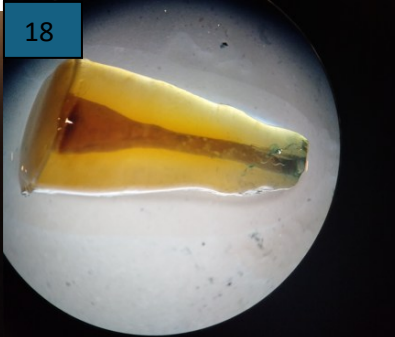
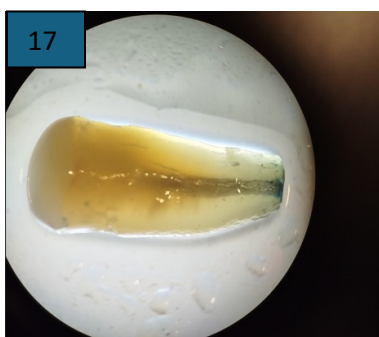
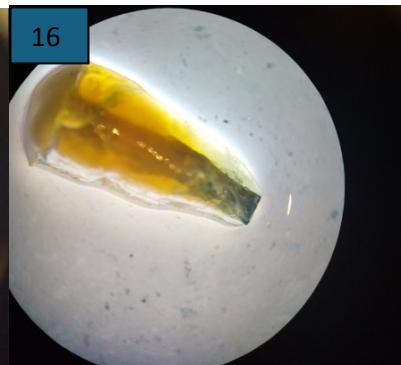
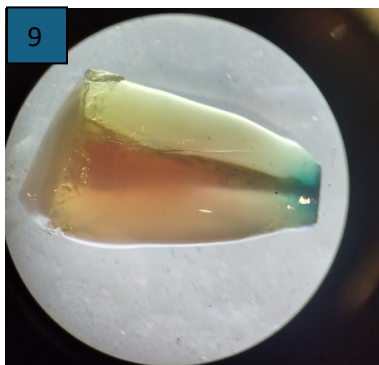
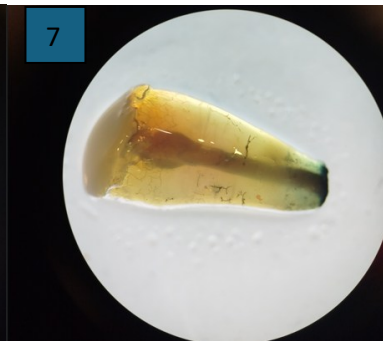
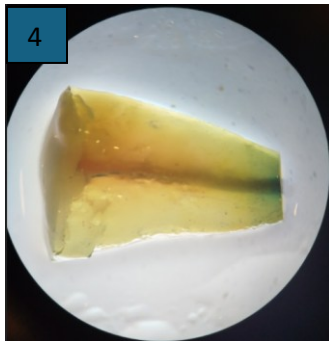
54. Monteiro Bramante C, Demarchi ACCO, de Moraes IG, Bernadineli N, Garcia RB, Spångberg LSW, et al. Presence of arsenic in different types of MTA and white and gray Portland cement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 1 de dezembro de 2008;106(6):909–13.
55. Moon HJ, Lee JH, Kim JH, Knowles JC, Cho YB, Shin DH, et al. Reformulated mineral trioxide aggregate components and the assessments for use as future dental regenerative cements. *J Tissue Eng*. 30 de outubro de 2018;9:2041731418807396.
56. Pushpalatha C, Dhareshwar V, Sowmya SV, Augustine D, Vinothkumar TS, Renugalakshmi A, et al. Modified Mineral Trioxide Aggregate—A Versatile Dental Material: An Insight on Applications and Newer Advancements. *Front Bioeng Biotechnol*. 9 de agosto de 2022;10:941826.
57. Pednekar AA, de Ataíde I de N, Fernandes M, Lambor R, Soares R. Spectrophotometric Analysis of Coronal Discolouration Induced by ProRoot MTA, Biodentine and MTA Repair HP Used for Pulpotomy Procedures. *Eur Endod J*. 13 de agosto de 2021;6(2):189–96.
58. Albernaz Neves J, Bandeira Lopes L, Alves Duarte M, Mendes JJ, Pimentel T. Systematic review and meta analysis of first and second generation bioceramic materials in primary dentition pulpotomies. *Sci Rep*. 15 de maio de 2025;15:16939.
59. Kharouf N, Sauro S, Eid A, Zghal J, Jmal H, Seck A, et al. Physicochemical and Mechanical Properties of Premixed Calcium Silicate and Resin Sealers. *J Funct Biomater*. 2022;14(1):9.
60. Raghavendra SS, Jadhav GR, Gathani KM, Kotadia P. Bioceramics in endodontics - a review. *J Istanbul Univ Fac Dent*. 2017;51(3 Suppl 1):S128–37.
61. Bioactive Tri/dicalcium Silicate Cements for Treatment of Pulpal and Periapical Tissues - PMC [Internet]. [citado 21 de setembro de 2025]. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6717675/>
62. Arandi NZ, Thabet M. Minimal Intervention in Dentistry: A Literature Review on Biodentine as a Bioactive Pulp Capping Material. *BioMed Res Int*. 3 de abril de 2021;2021:5569313.
63. Rodríguez-Lozano FJ, Lozano A, López-García S, García-Bernal D, Sanz JL, Guerrero-Gironés J, et al. Biomineralization potential and biological properties of a new tantalum oxide (Ta₂O₅)—containing calcium silicate cement. *Clin Oral Investig*. 2022;26(2):1427–41.
64. Physicochemical and antibiofilm properties of new ready-to-use and powder/gel bioceramic endodontic sealers - PMC [Internet]. [citado 21 de setembro de 2025]. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12237406/>
65. Rodríguez-López A, Moreno-Chavez K, Mingo-Zambrano E, Noguera-García M, Ballester-Palacios ML, Berástegui E. Root canal retreatment of root canals filled with “Neo MTA 2” and epoxy resin, using continuous and asymmetric reciprocal rotation systems: In vitro study. *J Clin Exp Dent*. 1 de fevereiro de 2024;16(2):e166–71.
66. Motwani, Nidhi & Ikhar, Anuja & Nikhade, Pradnya & Chandak, Manoj & Rathi, Saurabh & Dugar, Meghna & Rajnekar, Rutuja. (2021). Premixed bioceramics: A novel pulp capping agent. *Journal of Conservative Dentistry*. 24. 124. 10.4103/JCD.JCD_202_20. [Internet]. 7 de agosto de 2025 [citado 13 de outubro de 2025]; Disponível em:

- https://www.researchgate.net/publication/355205435_Premixed_bioceramics_A_novel_pulp_capping_agent
67. Fenesha F, Phanrungrsuwan A, Kanniard D, Foster BL, Diogenes A, Peters SB. Comparative Evaluation of Three Calcium Silicate-Based Materials for Direct Pulp Capping: An In Vivo Study in Mice. *bioRxiv*. 30 de maio de 2025;2025.05.29.656939.
 68. Vallet-Regí M, Colilla M, González B. Medical applications of organic-inorganic hybrid materials within the field of silica-based bioceramics. *Chem Soc Rev*. fevereiro de 2011;40(2):596–607.
 69. Muliyar S, Shameem KA, Thankachan RP, Francis PG, Jayapalan CS, Hafiz KAA. Microleakage in Endodontics. *J Int Oral Health JIOH*. 2014;6(6):99–104.
 70. Moradi S, Lomee M, Gharechahi M. Comparison of fluid filtration and bacterial leakage techniques for evaluation of microleakage in endodontics. *Dent Res J*. 2015;12(2):109–14.
 71. Veríssimo DM, Vale MS do. Methodologies for assessment of apical and coronal leakage of endodontic filling materials: a critical review. *J Oral Sci*. 2006;48(3):93–8.
 72. Assessment of different dyes used in leakage studies | *Clinical Oral Investigations* [Internet]. [citado 6 de outubro de 2025]. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00784-009-0299-8>
 72. Spångberg LSW, Aciemo TG, Yongbum Cha B. Influence of entrapped air on the accuracy of leakage studies using dye penetration methods. *J Endod*. 1 de novembro de 1989;15(11):548–51.
 74. Oliver CM, Abbott PV. Entrapped air and its effects on dye penetration of voids. *Dent Traumatol*. 1991;7(3):135–8.
 74. Jafari, Farnaz & Rahimi, Saeed & Shahi, Shahriar & Jafari, Sanaz. Endodontic microleakage studies: a comprehensive review correlation between different methods, clinical relevance and potential laboratory errors. *Minerva stomatologica*. 66. 10.23736/S0026-4970.17.04013-4. [Internet]. 7 de agosto de 2025 [citado 20 de agosto de 2025]; Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317953055_Endodontic_microleakage_studies_a_comprehensive_review_correlation_between_different_methods_clinical_relevance_and_potential_laboratory_errors
 76. Ghasemi N, Janani M, Razi T, Atharmoghaddam F. Effect of different mixing and placement methods on the quality of MTA apical plug in simulated apexification model. *J Clin Exp Dent*. março de 2017;9(3):e351–5.
 77. Eltair M, Pitchika V, Hickel R, Kühnisch J, Diegritz C. Evaluation of the interface between gutta-percha and two types of sealers using scanning electron microscopy (SEM). *Clin Oral Investig*. maio de 2018;22(4):1631–9.
 78. Fenesha F, Phanrungrsuwan A, Kanniard D, Foster BL, Diogenes A, Peters SB. Comparative Evaluation of Three Calcium Silicate-Based Materials for Direct Pulp Capping: An In Vivo Study in Mice. *bioRxiv*. 30 de maio de 2025;2025.05.29.656939.

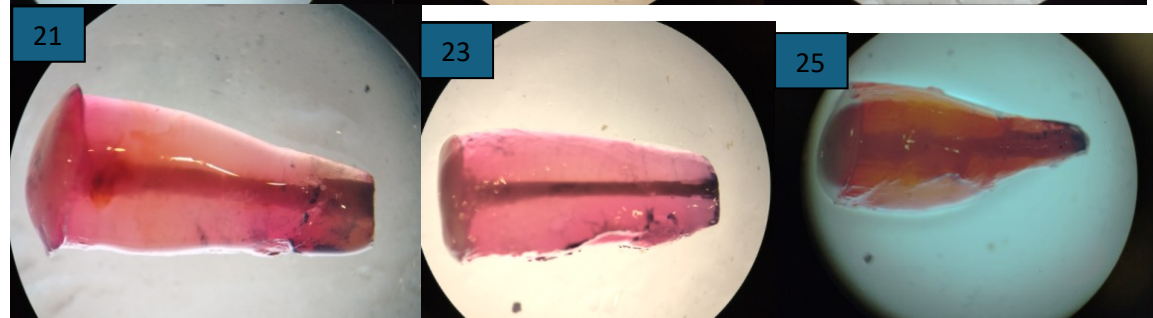
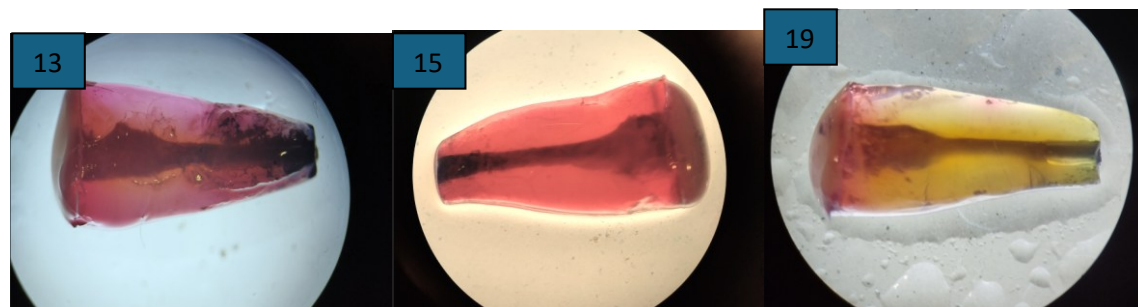
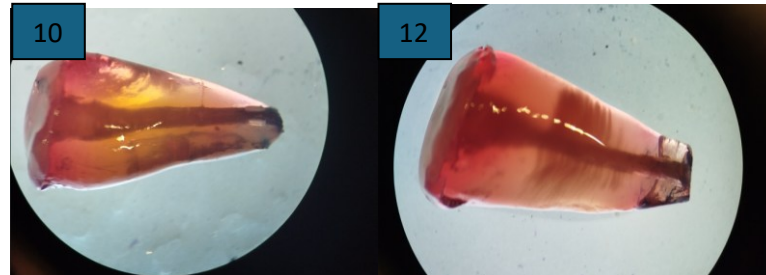
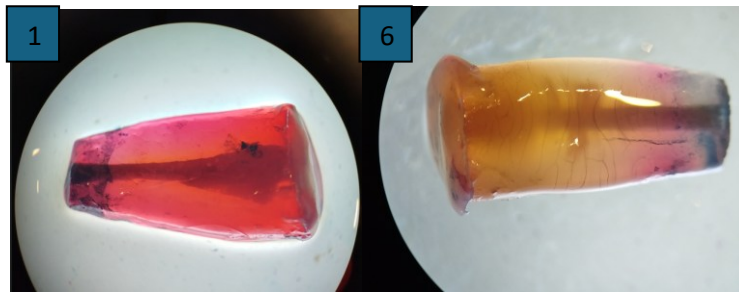
79. Comparative Evaluation of Apical Leakage in Root Canal Obturation Using AH Plus Sealer, Bioceramic Sealer, and Bioceramic Sealer Incorporated With Chitosan Nanoparticles: An In Vitro Study - PMC [Internet]. [citado 15 de outubro de 2025]. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11707632/>
80. Sultana M, Musani MA, Ahmed IM. An in-vitro comparative study for assessment of apical sealing ability of Epiphany/AH Plus sealer with Resilon/gutta-percha root canal filling materials. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2016;6(4):321–6.
81. M. Sakr O, M. Abdelhafeez M, M. AlKhalifah S, Mohammad AlWehaiby S. Evaluation of Microleakage in Endodontically Treated Teeth with Two Different Types of Sealers: Bioceramic Based Sealer and AH26; An in vitro Study. *Int J Curr Microbiol Appl Sci.* 20 de dezembro de 2017;6(12):3556–64.
82. Roy M, Bailwad SA, Bhatnagar A, Singh S, Assiry AA, Mohamed RN, et al. Evaluation of microleakage of mineral trioxide aggregate and biodentine as apical barriers in simulated young permanent teeth. *BMC Oral Health.* 16 de setembro de 2024;24(1):1100.
83. De-Deus G, Souza EM, Silva EJNL, Belladonna FG, Simões-Carvalho M, Cavalcante DM, et al. A critical analysis of research methods and experimental models to study root canal fillings. *Int Endod J.* 2022;55(S2):384–445.
84. Delikan E, Aksu S. Comparison of the sealing ability of apical plug materials in simulated open apices: An: in vitro: study. *J Oral Res Rev.* dezembro de 2020;12(2):70.
85. Nepal M, Shubham S, Tripathi R, Khadka J, Kunwar D, Gautam V, et al. Spectrophotometric analysis evaluating apical microleakage in retrograde filling using GIC, MTA and biodentine: an in-vitro study. *BMC Oral Health.* 3 de fevereiro de 2020;20(1):37.
86. Cano DA, Quiroga JS, Morales GA, C IZ. Protocolo para diafanización dental. *Rev Estomatol* [Internet]. 23 de janeiro de 2023 [citado 27 de outubro de 2025];31(1). Disponível em: https://estomatologia.univalle.edu.co/index.php/revista_estomatologia/article/view/12199
88. Khan FR, Rehman K, Habib S. Diaphonization: A Recipe to Study Teeth. *J Contemp Dent Pract.* março de 2015;16(3):248–51.
89. Soares CJ, Rodrigues M de P, Faria-e-Silva AL, Santos-Filho PCF, Veríssimo C, Kim HC, et al. How biomechanics can affect the endodontic treated teeth and their restorative procedures? *Braz Oral Res.* 18 de outubro de 2018;32:e76.
90. Hristov K, Bogovska-Gigova R. A Micro-Computed Tomography Analysis of Void Formation in Apical Plugs Created with Calcium Silicate-Based Materials Using Various Application Techniques in 3D-Printed Simulated Immature Teeth. *Dent J.* setembro de 2025;13(9):385.
91. Harinkhere C, Patni PM, Jain P, Raghuwanshi S, Pandey SH, Bilaiya S. Comparison of the sealing ability amongst orthograde apical plugs of mineral trioxide aggregate plus, mineral trioxide aggregate repair HP, and Biodentine after root resection: a bacterial leakage study. *Odontology.* 1 de abril de 2024;112(2):364–71.
92. Khedmat S, Abaee SA, Assadian H, Signore A, Benedicenti S. Evaluation of the Effects of Retro-Cavity Preconditioning with or Without Ethylenediaminetetraacetic Acid on Root

Surface pH and Dislodgement Resistance of NeoMTA2 and Mineral Trioxide Aggregate Flow Retro-Fills: An Ex Vivo Investigation. J Funct Biomater. janeiro de 2025;16(1):3.

Diafanizações Grupo 1 :



Diafanizações grupo 2 :



Diafanizações grupo controlo :

