



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – CAMPUS ARACAJU

CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE

DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA

IANCA LARISSA LEITE ALMEIDA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DOS CIMENTOS BIOCERÂMICOS: REVISÃO
DE LITERATURA**

ARACAJU

2024

IANCA LARISSA LEITE ALMEIDA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DOS CIMENTOS BIOCERÂMICOS: REVISÃO
DE LITERATURA**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Odontologia como um dos
pré-requisitos para a conclusão do Curso de
Odontologia da Universidade Federal de
Sergipe para obtenção do grau de Cirurgiã-
Dentista.**

**Orientadora: Profa. Dra. Maria Amália
Gonzaga Ribeiro**

ARACAJU

2024

IANCA LARISSA LEITE ALMEIDA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DOS CIMENTOS BIOCERÂMICOS: REVISÃO
DE LITERATURA**

Aracaju, ____/____/2024

Monografia aprovada como um dos pré-requisitos para a Conclusão do Curso de Odontologia da Universidade Federal de Sergipe para obtenção do grau de Cirurgião-Dentista.

Profa. Dra. Maria Amália Gonzaga Ribeiro – Orientadora
Universidade Federal de Sergipe

Prof. Dr. José Mirabeau de Oliveira – 1º Examinador
Universidade Federal de Sergipe

Cirurgião-Dentista Vinycius do Nascimento Santana – 2º Examinador
Mestrando em Clínica Odontológica – Universidade Federal de Sergipe

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por ter me conduzido e permitido a oportunidade de concluir meus estudos na Universidade Federal de Sergipe. Nessa instituição tive a grande sorte de ser acolhida e direcionada por um corpo docente que atuou transbordando uma grande preocupação em formar profissionais íntegros e bem preparados, à todos os meus professores meu grande agradecimento, pois além da grande bagagem teórico e prática, vocês foram uma grande inspiração para mim. Meu agradecimento em especial à professora Dra. Amália, não só pelo acolhimento, paciência e orientação, e minha admiração por ser um grande exemplo de profissional, seja pela didática, a extensa carga de informações sempre muito atualizadas, a exigência e cuidado em formar profissionais competentes e humanos, e pela energia, leveza e amor à profissão. Ter estudado com profissionais que transformam um dia cansativo e intenso em um dia mais leve foi um grande privilégio. Nessa trajetória destaco também a importância da minha família, principalmente aos meus pais Ana Paula e José Luis e meus avós Ana Maria, Arcenia e Josafá que estiveram sempre muito presentes e me dando a força, auxílio, apoio e as condições necessárias para que eu concluísse meus estudos, sem vocês eu jamais conseguiria chegar ao fim desse ciclo. Aos meus colegas de classe, minha admiração e gratidão, meus dias ficavam melhores ao lado de vocês, me sinto muito orgulhosa e privilegiada por ter compartilhado essa trajetória com pessoas tão incríveis. Para minha dupla Sofia, e meus parceiros Sharon e Senal, saibam que foi uma honra partilhar os desafios e vitórias com vocês, e que em cada momento de exaustão, dúvida e angústia, vocês me tornaram mais forte. E por fim, deixo meu agradecimento em especial para minha filha Alice, a conexão que nós temos é algo só que Deus conseguiria explicar, você aumentou minha força, coragem e foco, e apesar das dificuldades, sinto que com você ganhei motivos ainda maiores para ir atrás dos meus objetivos.

RESUMO

O sucesso do tratamento endodôntico depende da capacidade de desinfecção, selamento e biocompatibilidade que apresentam os materiais seladores. Os cimentos convencionais apresentam boas qualidades físico-químicas, porém nem sempre suas atividades biológicas atendem aos requisitos exigidos de um material para serem considerados como excelentes e ideal. O objetivo deste estudo foi analisar as propriedades e os benefícios dos cimentos biocerâmicos utilizados na obturação dos canais radiculares, por meio de uma revisão de literatura. Os dados foram obtidos por meio das bases de dados eletrônicas *Public Medline* (PubMed), *SciElo*, Google Acadêmico e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), usando os descritores de saúde “*Endodontia*”; “*Cimentos dentários*”; “*Materiais biocompatíveis*” no período de dezembro de 2023 a julho de 2024 com o intuito de responder a pergunta norteadora “As vantagens dos cimentos biocerâmicos no que se refere às suas propriedades, indicações e limitações são suficientes para transformá-los em primeira escolha no tratamento endodôntico?”. Foram selecionados para o presente estudo trinta e um artigos por atenderem aos critérios de inclusão e exclusão. Em relação aos cimentos biocerâmicos pôde-se observar propriedades como, biocompatibilidade, induzir a regeneração e mineralização, atividade antibacteriana satisfatória, além de manter o efeito dessas características a longo prazo. Em relação às características físico-químicas, como adesão, adaptação aos túbulos dentinários, escoamento, radiopacidade, pH alcalino e solubilidade, ao serem comparadas com cimentos convencionais, em especial ao AH Plus, foi possível observar um desempenho superior ou semelhante.

Descritores: Endodontia; Cimentos dentários; Materiais biocompatíveis.

ABSTRACT

The success of endodontic treatment depends on the disinfection, sealing and biocompatibility capabilities of sealing materials. Conventional cements have good physical-chemical qualities, but their biological activities do not always meet the requirements required of a material to be considered excellent and ideal. The objective of this study was to analyze the properties and benefits of bioceramic cements used to fill root canals, through a literature review. Data were obtained through the electronic databases Public Medline (PubMed), SciElo, Google Scholar and Virtual Health Library (VHL), using the health descriptors “Endodontics”; “Dental cements”; “Biocompatible materials” in the period from December 2023 to July 2024 with the aim of answering the guiding question “The advantages of bioceramic cements in terms of their properties, indications and limitations are enough to make them the first choice in treatment endodontic treatment?” Thirty-one articles were selected for the present study because they met the inclusion and exclusion criteria. In relation to bioceramic cements, properties such as biocompatibility, inducing regeneration and mineralization, satisfactory antibacterial activity, in addition to maintaining the effect of these characteristics in the long term, could be observed. In relation to physicochemical characteristics, such as adhesion, adaptation to dentinal tubules, flow, radiopacity, alkaline pH and solubility, when compared with conventional cements, especially AH Plus, it was possible to observe superior or similar performance.

Key words: Endodontics; Dental cements; Biocompatible materials.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	7
2.	OBJETIVOS.....	9
	2.1 Objetivo geral.....	9
	2.2 Objetivos específicos.....	9
3.	METODOLOGIA.....	10
	3.1 Caracterização da área de estudo.....	10
	3.2 Critérios de inclusão e exclusão.....	10
4.	REVISÃO DA LITERATURA.....	11
	4.1 Cimentos biocerâmicos	11
	4.2 Biocompatibilidade e bioatividade	12
	4.3 Atividade antimicrobiana.....	18
	4.4 Propriedades físico-químicas	21
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
6.	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

O tratamento endodôntico requer desinfecção e selamento adequado dos sistemas de canais radiculares (SCR) com o objetivo de diminuir ou prevenir a infecção dos tecidos pulpares e perirradiculares (Fonseca *et al.*, 2019). Mesmo após o preparo químico e mecânico, microorganismos residuais são encontrados em 40-60% dos canais radiculares devido a sua capacidade de penetração em locais nos quais as substâncias químicas auxiliaadoras não alcançam, como túbulos dentinários e ramificações, que pode diminuir o sucesso do tratamento e/ou prejudicar a reparação tecidual perirradicular nos casos em que a lesão periapical está presente (Fonseca *et al.*, 2019; Munitić *et al.*, 2020).

A etapa de selamento, conhecida como obturação, utiliza materiais como os cimentos endodônticos, que são responsáveis por promover a união entre a guta percha e a parede do conduto, o que provoca o selamento do canal radicular e impede que microorganismos da cavidade bucal os acessem para isolar os microorganismos que resistiram as etapas de instrumentação e irrigação, dessa forma evita-se que exsudatos bacterianos alcancem tecidos periapicais (Munitić *et al.*, 2020).

Para que um cimento endodôntico seja considerado ideal, determinadas propriedades devem ser atribuídas, como a biocompatibilidade, estabilidade dimensional, boa adesão à dentina do conduto, selamento hermético, bom tempo de presa, insolubilidade aos fluidos dos tecidos e da cavidade oral, solubilidade em solvente comum, atividade bacteriostática e ausência de coloração, no entanto, os cimentos disponíveis no mercado não comportam todas essas propriedades (Huang *et al.*, 2022; Fonseca *et al.*, 2019). São classificados principalmente pelo seu grupo químico predominante: óxido de zinco eugenol (OZE), hidróxido de cálcio (HC), ionômero de vidro (IV), resina epóxi (RE), e cimentos biocerâmicos (BC) (Fonseca *et al.*, 2019).

Atualmente, o cimento *AH Plus*, principal representante da classe de cimentos a base de resina epóxi, é um material obturador largamente empregado na clínica, e considerado padrão ouro em pesquisas científicas, devido às suas características físico-químicas vantajosas, como a facilidade de manipulação, bom escoamento, solubilidade, estabilidade dimensional, menor tempo de presa e radiopacidade (El Hachem, 2019; Caceres *et al.*, 2021). No entanto, apresenta citotoxicidade logo após a mistura dos seus componentes que aumenta a chance de atraso na cicatrização, e dor após o tratamento endodôntico (Seo *et al.*, 2019).

Já os cimentos endodônticos biocerâmicos são materiais seladores que possuem como elemento principal em sua fórmula o silicato de cálcio (dicálcico ou tricálcico), e foram desenvolvidos com o objetivo de introduzir um produto que apresente melhorias como maior biocompatibilidade e atividade antimicrobiana, quando comparado a outros cimentos convencionais (Camilleri *et al.*, 2022; Erdogan *et al.*, 2021). Outras características atrativas presentes são a bioatividade, osteocondução e maior ligação química à dentina do conduto, propriedades que tornaram essa classe de cimentos essenciais em quadros complexos onde há o maior risco de extravasamento (Gomes *et al.*, 2023). Entretanto, o alto valor de mercado e a maior solubilidade, que põe em questionamento a sua capacidade de selamento, são características desfavoráveis que tornam questionável se essa classe de cimentos endodônticos possuem o potencial de serem a principal escolha na rotina clínica (Zares *et al.*, 2021).

O presente estudo objetivou analisar comparativamente as propriedades e limitações dos cimentos biocerâmicos utilizados na obturação dos canais radiculares, por meio de uma revisão de literatura.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar comparativamente as propriedades e os benefícios dos cimentos biocerâmicos utilizados na obturação dos canais radiculares, por meio de uma revisão de literatura.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as propriedades dos cimentos biocerâmicos:
 - Biológicas (bioatividade, biocompatibilidade, reparação óssea)
 - Antimicrobiana
 - Físico-químicas (adesão, escoamento, profundidade, radiopacidade, pH, solubilidade)
- Comparar as vantagens e desvantagens entre os cimentos biocerâmicos e os cimentos convencionais

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

Foi realizada uma revisão de literatura com pesquisa bibliográfica exploratória no período dezembro de 2023 a julho de 2024, através das bases de dados eletrônicas *Public Medline* (PubMed), Google Acadêmico e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), *SciElo*, utilizando como descritores “*endodontic*”, “*endodontic sealer*”, “*endodontic treatment*”, “*bioceramic*”, “*calcium silicate*”, bem como os operadores booleanos: *AND*, *OR*, *NOT*, tendo como pergunta norteadora “As vantagens dos cimentos biocerâmicos no que se refere às suas propriedades, indicações e limitações são suficientes para transformá-los em primeira escolha no tratamento endodôntico?”. Inicialmente, houve uma pré-seleção de artigos classificados como potencialmente relevantes a partir da leitura do título e resumo. Em seguida, 31 artigos que estavam de acordo com os critérios de inclusão, foram obtidos na íntegra para leitura e incorporação no estudo, como também suas referências foram analisadas para que a coleta fosse mais precisa. Foram observadas e analisadas as características das propriedades dos cimentos endodônticos e um estudo comparativo entre os modelos.

3.2 Critérios de inclusão e exclusão

Como critérios de inclusão, foram selecionados artigos no formato original, provenientes de estudos *in vivo*, *in vitro*, revisões sistemáticas, escritos na língua inglesa e portuguesa, em abordagem de temas relacionados aos cimentos biocerâmicos, como características biológicas e físico-químicas, publicados nos últimos 5 anos, em revistas específicas da área, usando como critério para escolha o qualis, e que este fosse igual ou superior a B3. Por sua vez, estudos duplicados, revisões de literatura e tópicos não relacionados aos objetivos específicos do estudo foram excluídos.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Cimentos biocerâmicos

Cimentos biocerâmicos são materiais obturadores que possuem o silicato de cálcio como componente principal em sua composição, e que atingem a fase plástica através de reações higroscópicas (Donnermeyer D. *et al.*, 2019). São caracterizados por apresentarem ótimas propriedades biológicas como a biocompatibilidade, atividade antibacteriana e bioatividade, além de propriedades físico-químicas ideais: boa estabilidade dimensional, tempo de presa adequado, alta radiopacidade, excelente capacidade de penetração e adequação aos túbulos dentinários e forte adesividade à dentina (Sanz JL *et al.*, 2024). (Donnermeyer D. *et al.*, 2019; Sanz JL *et al.*, 2024)

Apresentam-se comercialmente em duas formas: pré-misturados e prontos para uso, e pó/líquido, que se diferenciam através da maneira como o material absorve a água necessária para atingir a presa, sendo que na fórmula pó/líquido a hidratação é obtida previamente à introdução no canal através da espatulação de seus componentes, já os pré-misturados necessitam da umidade presente no canal radicular, obtida através dos fluidos dos tecidos perirradiculares ou dentinários, e ambas as formas irão apresentar o mesmo tipo de reação de presa que é dividida em duas etapas: a hidratação, na qual a reação com os fluidos irá provocar a liberação de íons hidroxila e cálcio a partir da formação hidróxido de cálcio com fosfato de cálcio, e a etapa de precipitação, na qual esses produtos irão precipitar na forma hidroxiapatita (Donnermeyer D. *et al.*, 2019).

A liberação de íons de cálcio e hidroxila proporciona um pH alcalino, e esses fatores são responsáveis por atribuir a esse material suas excelentes propriedades biológicas, fazendo com que os cimentos biocerâmicos sejam indicados em casos de perfurações radiculares apicais, laterais e de furca, capeamento pulpar, pulpotomia, apicificação, procedimentos endodônticos regenerativos, entre outros quadros clínicos (Estrela C. *et al.*, 2023).

A alta solubilidade dos cimentos biocerâmicos tem gerado discussões a respeito da sua eficiência no tratamento endodôntico, devido a conseqüente perda de massa e formação de espaços que podem provocar o enfraquecimento do selamento, além disso, os espaços formados podem permitir que a passagem dos fluidos teciduais e produtos bacterianos atinjam os tecidos circundantes provocando uma reinfecção (DONNERMEYER D. *et al.*, 2022).

4.2 Biocompatibilidade e bioatividade

O sucesso ou fracasso do tratamento endodôntico a longo prazo é observado através da melhora do quadro inflamatório, que está intimamente relacionado com a desinfecção e selamento ideal dos sistemas de canais radiculares (Guo J. *et al.*, 2023). Após concluído o tratamento, a eliminação de bactérias mortas e tecidos necrosados irá possibilitar a cicatrização dos tecidos lesionados, permitindo que ocorra a cicatrização através da aglomeração de fatores de crescimento e citocinas, que estimulam a proliferação de células mesenquimais e células-tronco do ligamento periodontal, grupos celulares que são responsáveis por induzir o reparo ou regeneração da área lesionada devido ao potencial de plasticidade celular, ação osteogênica, odontogênica e cementogênica. (Sanz *et al.*, 2022).

Durante a etapa de obturação, os cimentos podem sofrer extravasamento através do forame apical e secundário atingindo os tecidos perirradiculares, e caso sejam reconhecidos como corpo estranho, devido a presença de efeito citotóxico, irão prejudicar a viabilidade celular, aumentando as chances de dor no pós operatório e atraso na cicatrização (Ferreira *et al.*, 2021). Por isso é importante utilizar um cimento que apresenta biocompatibilidade e/ou bioatividade, assim evita reações inflamatórias e acelera o processo de cicatrização (Ferreira *et al.*, 2021; Sanz *et al.*, 2022; Sanz *et al.*, 2024).

O potencial citotóxico de um cimento endodôntico pode ser avaliado através da sua capacidade de provocar efeitos imunomoduladores positivos ou negativos na inflamação e osteogênese, visto que esses materiais podem atuar em diversas vias imunológicas influenciando o comportamento das células do sistema imune e regulando a liberação de quimiocinas e citocinas (Guo J. *et al.*, 2023).

A maior parte dos cimentos endodônticos apresentam uma alta citotoxicidade, exacerbando a inflamação através do aumento da produção de citocinas pró-inflamatórias, e inibindo o crescimento celular, porém, alguns grupos como os cimentos biocerâmicos, são capazes de regular negativamente as citocinas pró-inflamatórias, devido a capacidade de promover um efeito positivo na imunomodulação, que favorece a viabilidade, migração e adesão celular (Guo J. *et al.*, 2023). Além disso, por serem materiais bioativos, também exibem o potencial de precipitar hidroxiapatita, influenciando a atividade das células-tronco dentárias, induzindo a diferenciação e mineralização do tecido (Sanz JL *et al.*, 2024).

A mineralização pode ocorrer tanto nos canais radiculares quanto nos tecidos periapicais, quando esses entram em contato com o cimento, e depende da reação de hidratação (Sanz JL *et al.*, 2024). No canal radicular, a reação de hidratação ocorre entre o cimento e os fluidos dentinários, provocando a precipitação da hidroxiapatita na interface entre a dentina e a superfície dos cimentos biocerâmicos, gerando uma ligação mineral entre estes (Sanz JL *et al.*, 2022). Nos tecidos periapicais, os íons de cálcio e hidroxila, liberados pela reação de hidratação, são lixiviados para as áreas periradiculares lesionadas (Sanz JL *et al.*, 2022). A hidroxila irá proporcionar um pH alcalino que neutraliza os ácidos láticos produzidos por osteoclastos, prevenindo a desmineralização, já o cálcio é fortemente associado a estimulação do agrupamento e diferenciação de células-tronco mesenquimais induzindo a mineralização de tecidos. (López-García *et al.*, 2020; Seo DG *et al.*, 2019).

O estudo com experimentos *in vitro* e *in vivo* realizado por BENETTI e colaboradores em 2019, avaliaram a citotoxicidade e biocompatibilidade do *Sealer Plus BC*® em comparação com *MTA Fillapex*® e *AH Plus*®. Para isso, foram realizados experimentos *in vitro* nos quais foram preparadas diluições dos cimentos obtendo as concentrações 1:50, 1:100 e 1:200, colocados em contato com os fibroblastos cultivados em meio de cultura para avaliação da viabilidade celular. Já nos experimentos *in vivo*, 64 tubos de etileno preenchidos com os cimentos avaliados foram implantados no tecido subcutâneo de 16 ratos. Os ratos foram sacrificados nos períodos de 7 e 30 dias e os tubos foram removidos para análises. Os testes de viabilidade celular indicaram que na diluição 1:50 o AH Plus (AHP) apresentou maior taxa de morte celular, já o cimento biocerâmico Sealer Plus BC (SP) exibiu maior biocompatibilidade, com resultados semelhantes ao grupo controle, e aumento significativo da proliferação celular. Porém, em menores concentrações (1:100 e 1:200), o SP apresentou uma resposta inflamatória grave, já o MTA Fillapex e AHP obtiveram inflamação moderada, e todos os grupos apresentaram cápsula fibrosa espessa. Aos 30 dias, o MTA e AHP obtiveram inflamação moderada, o SP apresentou inflamação leve e o grupo controle inflamação ausente. Os grupos apresentaram uma cápsula fibrosa fina, exceto o MTA, que ainda exibia cápsulas fibrosas espessas.

Para avaliar e comparar a citotoxicidade e bioatividade entre os cimentos biocerâmicos EndoSequence BC Sealer®, BioRoot RCS®, Endoseal MTA® e o cimento convencional AH Plus®, estudos foram efetuados por Seo DG. e colaboradores em 2019, utilizando Células Tronco da Polpa Dentária Humana (hBPSCs), cultivadas em um meio de cultura depositado em

uma monocamada. A avaliação da citotoxicidade, migração celular, e morfologia celular foi realizada respectivamente através dos ensaios de Metil-Tiazol Difenil-Tetrazólio (MTT), método de cicatrização de feridas por arranhão, e microscópio eletrônico de varredura. No que se refere à viabilidade e migração celular, os grupos de cimentos EndoSequence BC Sealer, BioRoot RCS, Endoseal MTA apresentaram resultados superiores em todos os períodos experimentais em comparação com o AH Plus. As células em contato com os biocerâmicos exibiram uma morfologia achatada e adesão celular superior comparado às células em contato com AH Plus. Não houve cicatrização de feridas pelo no grupo AH Plus após 24 h. Todos os cimentos aumentaram a formação de nódulos de cálcio, no entanto, hDPSCs expostos aos cimentos biocerâmicos mostraram resultados significativamente maiores para os em relação ao grupo AH Plus em 15 dias.

López-García e colaboradores em 2020 promoveram um estudo comparando as propriedades biológicas e a bioatividade entre três cimentos à base de silicato de cálcio: EndoSequence BC Sealer®, Ceraseal® e Endoseal mineral trioxide aggregate®, no qual foram avaliados a atividade metabólica e migração celular por ensaios de MTT e cicatrização de feridas, a fixação e morfologia celular através da microscopia eletrônica de varredura, e a bioatividade foi analisada através do RT-qPCR e ensaios de mineralização. Para a realização do experimento utilizaram-se Células-tronco do Ligamento Periodontal Humano (hPDLSCs), em meio de cultura, colocados em contato com os eluatos dos cimentos. Para avaliação da osteogênese, foi utilizado a expressão do gene ALP, já para a cementogênese foram usados o CEMP-1 e o CAP. O cultivo das células foi feito em 3, 7, 14 e 21 dias. Análises de liberação de íons e pH no período de 7 dias indicaram que todos os cimentos exibiram pH alcalino, sendo que o pH do Endoseal foi significativamente maior. A maior liberação de Ca^{2+} foi obtida pelo Ceraseal, seguido pelo EndoSequence BC Sealer e Endoseal. Entretanto, o Ceraseal apresentou uma liberação superior de Zr. O Endoseal foi o único cimento que exibiu presença apenas do alumínio. No que se refere a adesão celular, após 72 horas uma alta quantidade de células foram observadas aderidas à superfície dos discos com EndoSequence e Ceraseal. Nos dados obtidos para citotoxicidade e cicatrização de feridas, o EndoSequence e Ceraseal obtiveram taxas de migração celular próximas às do controle, no entanto, uma menor taxa de migração foi exibida pelo Endoseal. Nos cimentos EndoSequence e Ceraseal foram observados uma superexpressão ALP, CEMP-1 e CAP, mostrando resultados significativamente maiores que o grupo controle e o grupo do cimento Endoseal. Esses resultados demonstram um forte potencial de regeneração tecidual e selamento biológico pelos cimentos biocerâmicos.

O trabalho realizado por Alves e colaboradores em 2020 avaliou a biocompatibilidade e a bioatividade dos cimentos biocerâmicos Bio-C Sealer® e Sealer Plus BC® em comparação com AH Plus® em tecido subcutâneo de ratos. Para o experimento utilizaram-se tubos de polietileno vazios como o grupo controle, e tubos contendo os materiais seladores, que foram implantados no tecido subcutâneo de ratos. As amostras foram removidas em um prazo de 7, 15, 30 e 60 dias. As células inflamatórias foram marcadas por imunomarcadores de interleucina (IL)-6 e ambas foram avaliadas utilizando microscopia óptica. As análises dos cortes em von kossa e a detecção de osteocalcina também foram realizadas. No período de 7 dias todos os materiais mostraram inflamação moderada. No entanto, a produção de osteocalcina, que está relacionada com a deposição óssea, foi identificada em 15 a 60 dias nos túbulos com cimentos biocerâmicos, mas em nenhum momento foi observada para o cimento AH Plus. Em 60 dias houve um maior aumento da inflamação para o AH Plus, já os cimentos biocerâmicos apresentaram uma redução gradual de células inflamatórias, intensa remodelação tecidual, produção de fibras de colágeno bem orientadas, formando tecido conjuntivo denso no local que antes havia a inflamação. Esses resultados mostraram uma maior biocompatibilidade para os cimentos biocerâmicos que proporcionaram uma regressão mais rápida da inflamação que o AH Plus, além do potencial de bioatividade presente nos Bio-C Sealer e Sealer Plus BC, exibindo células e estruturas osteoclastas imunopositivas.

Erdogan e colaboradores em 2021 analisaram a biocompatibilidade dos cimentos AH Plus® à base de resina epóxi, MTA-Fillapex® à base de salicilato e o iRootSP® à base de silicato de cálcio. Foram utilizados fibroblastos do ligamento periodontal humano (hPDLFCs), cultivados em meio de cultura Eagle modificado por Dulbecco (DMEM). Os efeitos do extrato dos cimentos em hPDLFCs foram avaliados por testes de genotoxicidade de micronúcleos e citotoxicidade XTT. A contagem do número de células foi realizada por um espectrômetro. No teste de genotoxicidade, a concentração de cada selante que afetou 50% das células foi definida como a concentração ideal, e foram identificadas formação de micronúcleos. Nesse experimento o AH Plus apresentou citotoxicidade, com baixa viabilidade celular. A umidade e a temperatura contribuíram para o aumento do tempo de presa e a solubilidade, fator que pode ter proporcionado um resultado de toxicidade maior devido à maior liberação de componentes tóxicos. A alta citotoxicidade também foi observado no MTA-Fillapex nas concentrações 1:1, 1:2, 1:4, nas 6 horas iniciais, no entanto, em 72 horas o efeito reduziu. A citotoxicidade do MTA-Fillapex deste cimento pode estar atrelada a presença do salicilato-resina, que em altas concentrações aumenta a mortalidade celular. A genotoxicidade foi observada tanto no AH Plus

quanto no MTA devido ao aumento de micronucleotídeos. Já o iRootSP foi considerado um material biocompatível, pois não provocou o aumento de micronucleotídeos, além disso, manteve uma quantidade maior de células viáveis em todas as suas concentrações.

Sanz e colaboradores em 2022 promoveram um experimento *in vitro* comparando o potencial de bioatividade e citocompatibilidade entre os cimentos de silicato de cálcio AH Plus Bioceramic Sealer® (AHBC), Endosequence BC Sealer® (ESBC) e AH Plus® (AHP), utilizando células-tronco do ligamento periodontal humano (hPDLSCs). Foram utilizadas preparações dos cimentos nas concentrações de 1:1, 1:2 e 1:4 colocadas em discos de amostra padronizados. Os hPDLSCs foram isolados do terço apical e médio de terceiros molares extraídos por motivos ortodônticos ou periodontais e cultivados em meio de cultura. As análises foram feitas em um período de 24h, 48h e 72h. Em seus resultados os cimentos biocerâmicos apresentaram viabilidade celular em todos os períodos de tempo para os ensaios de MTT, além disso, os cimentos biocerâmicos influenciaram positivamente a migração, morfologia, fixação, diferenciação e biomineralização de hPDLSC, diferentemente do AH Plus, que exibiu toxicidade para hPDLSCs, reduzindo a viabilidade, proliferação celular e provocando morfologia e fixação aberrantes. Os hPDLSCs cultivados com os biocerâmicos exibiram pelo menos um marcador cementogênico, osteogênico e odontogênico em comparação com o grupo de controle negativo e positivo, mostrando seus potenciais de interferir positivamente na plasticidade celular, e melhorando o processo de cicatrização de defeitos periodontais e lesões de origem endodôntica.

Estudos mais recentes realizados por Sanz e colaboradores em 2024, compararam a citocompatibilidade, bioatividade e potencial anti-inflamatório entre cimentos à base de silicato de cálcio: Bioroot Flow® (BrF), AH Plus Bioceramic Sealer® (AHBC) e o cimento à base de resina epóxi AH Plus® (AHP). Para o experimento foram utilizados hPDLSCs de terceiros molares extraídos de pacientes saudáveis, e preparados 15 discos com os eluatos dos cimentos nas diluições de 1:1, 1:2, 1:4. As análises ocorreram nos intervalos de tempo de 24h, 48h e 72h. A quantificação da citotoxicidade demonstrou que, em todos os intervalos de tempo e diluições, o cimento AH Plus apresentou uma migração e atividade metabólica significativamente menor que os cimentos biocerâmicos AHBC e BrF. As células do hPDLSCs que foram cultivadas com os cimentos BrF e AHBC exibiram uma morfologia fusiforme, funcionalmente alongadas e fixadas às suas superfícies em todas as diluições. No entanto o AH Plus apresentou células com morfologias aberrantes para as concentrações de 1:1 e 1:2, com baixa contagem de células

fusiformes para diluição 1:4, além de falta de adesão e presença de detritos em suas superfícies. Após 21 dias, o cimento BrF, comparado ao grupo controle negativo, promoveu uma super expressão do marcador da proteína de fixação do cimento (CAP) e sialoproteína óssea (BSP) indicando atividade de formação de cimento, regeneração, e mineralização do periodonto. Com relação a mineralização, o cimento BioRoot Flow e AH Plus Bioceramic Sealer apresentaram resultados significativamente superiores ao AH Plus. Porém, entre os cimentos biocerâmicos, o AH Plus Bioceramic, Sealer exibiu uma mineralização significativamente menor comparada ao BioRoot Flow. O cimento AHP induziu maiores níveis de expressão de células inflamatórias como IL-6 e IL-8 em comparação aos cimentos biocerâmicos e o grupo de controle positivo.

Inada e colaboradores em 2024 realizaram experimentos *in vivo* para avaliar a biocompatibilidade, bioatividade, porosidade e interface selante/dentina dos cimentos Sealer Plus BC® (SP), Bio-C Sealer® (BC), TotalFill BC Sealer® (TF) e AH Plus® (AHP). O experimento foi realizado através da implantação de tubos de dentina preenchidos com os cimentos no tecido subcutâneo de ratos. Para compor o grupo controle (CG) foram utilizados tubos vazios. As análises mostraram que a espessura das cápsulas do AH Plus e o número de células imunomarcadoras de IL-6 foi significativamente maior do que nos outros grupos em todos os períodos, indicando maior atividade inflamatória para este cimento. Aos 15 dias os grupos de cimentos biocerâmicos apresentou a formação de fibroblastos entre o infiltrado inflamatório, e após 30 e 60 dias as cápsulas ao redor desses grupos apresentavam fibroblastos presentes de forma predominante entre fibras de colágeno. No entanto, nesse mesmo período o AHP ainda exibia várias células inflamatórias. Células imunomarcadoras de osteocalcina foram observadas apenas nas cápsulas dos grupos dos cimentos biocerâmicos em todos os períodos. As cápsulas de todos os cimentos exibiram estruturas von Kossa-positivas no período de 7 e 60 dias. Seções analisadas através da luz polarizada exibiram estruturas birrefringentes, indicando mineralização de tecido, nas cápsulas de BC, SP, TF e AHP. Em todos os grupos houve aumento da porosidade e vazios em 60 dias, sendo que a porcentagem de vazios entre esses grupos se manteve semelhante em todos os períodos.

Um estudo *in vivo* foi realizado por Santos e colaboradores em 2023 com o objetivo de avaliar o potencial de reparação tecidual dos cimentos biocerâmicos EndoSequence BC Sealer®, Bio-C Sealer®, Bioroot RCS® e Sealer Plus BC®, através da produção de colágeno tipo I e III. Nesse estudo foram implantados tubos de polietileno contendo os cimentos endodônticos no tecido subcutâneo de ratos. Após 14 dias os ratos foram sacrificados, e foi

realizada a quantificação das fibras de colágeno. Os resultados obtidos demonstraram que todos os cimentos exibiram aumento na produção total de colágeno, comprovando a sua biocompatibilidade. Para o colágeno tipo I a maior produção foi observada no cimento Bioroot, já para o tipo III, todos os cimentos apresentaram resultados estatisticamente semelhantes. O processo de cicatrização é indicado através da formação das fibras de colágeno. O colágeno tipo I está intimamente ligado à fase final do processo de reparação tecidual, e possui a capacidade de fornecer um ambiente propício e induzir o agrupamento e diferenciação de células-tronco osteo-odontogênicas. Além disso, a presença desse tipo de colágeno sinaliza a homeostase das células-tronco, indicando biocompatibilidade dos cimentos biocerâmicos.

4.3 Atividade antimicrobiana

Os microrganismos e seus subprodutos são os principais fatores etiológicos para patologias dentinárias, pulpares e periapicais. Entre as principais bactérias presentes nas infecções radiculares estão a *Enterococcus faecalis*, frequentemente encontrada em infecções primárias e recorrentes no tratamento endodôntico, a *Enterococcus coli* que é comumente associada a infecções periapicais, *Streptococcus mutans* a doença cárie e canais radiculares infectados com quadros de periodontite apical e *Pseudomonas aeruginosa* encontra-se principalmente em quadros de infecções endodônticas primárias e persistentes (Barbosa V.M. *et al.*, 2020).

No que se refere ao tratamento endodôntico, após o debridamento e a utilização de substâncias químicas auxiliares nos canais radiculares, a população de microrganismos é reduzida, no entanto, não é completamente exterminada, pois adentram estruturas como túbulos dentinários e ramificações, atingindo profundidades que não são alcançadas durante a instrumentação (Guo J. *et al.*, 2023).

Dessa forma, torna-se necessário a utilização de cimentos endodônticos que apresentem propriedade antibacteriana, e possua maior potencial de penetração e adesão nos condutos, impedindo a comunicação entre os microrganismos presentes na cavidade oral e os tecidos periodontais, porque isolarão os microrganismos que resistiram a etapa de preparo do sistema de canais radiculares, aumentando as chances de sucesso na desinfecção, prevenindo o crescimento bacteriano, e, conseqüentemente, a reinfecção (Munitic *et al.*, 2020).

Alguns fatores podem interferir no desempenho da ação antibacteriana presente nos cimentos endodônticos, como o contato dos fluidos teciduais com o cimento, que podem provocar alterações no pH, sendo que quanto maior o efeito alcalinizante maior o potencial de erradicação bacteriana; a duração do tempo de presa do cimento, que pode causar um prolongamento ou encurtamento da atividade antibacteriana, e a solubilidade, responsável por possibilitar a liberação componentes bactericidas pelos cimentos (Barbosa V.M., *et al.* 2020).

Os cimentos convencionais disponíveis no mercado que apresentam algum nível de atividade antibacteriana, geralmente exibem essa ação de forma mais intensa logo após a espatulação e reduz gradualmente conforme o estado de presa é alcançado. Normalmente também são observadas reações citotóxicas atrelados a esse efeito antibacteriano (Munitić *et al.*, 2020; Rathod RK, *et al.*, 2020). Um exemplo disso é o cimento convencional à base de resina epóxi AH Plus, que possui uma apresentação pasta-pasta, na qual a pasta A possui em sua composição resina epóxi, e a pasta B contém amina, e ambas são consideradas agentes mutagênicos devido a capacidade de provocar rupturas na estrutura do DNA celular. Logo após a mistura das pastas, uma pequena quantidade de formaldeído e componente de resina epóxi são liberadas produzindo efeito negativo tanto na viabilidade das células dos tecidos perirradiculares, quanto dos microrganismos resistentes nos túbulos dentinários. O efeito antibacteriano e a citotoxicidade são reduzidos conforme a presa é alcançada (Seo DG *et al.*, 2019; Wang Z *et al.*, 2021; Rathod RK *et al.*, 2020).

Com relação aos cimentos biocerâmicos, a presença da atividade antibacteriana está diretamente relacionada com os efeitos do alto valor de pH proporcionado pelos íons de hidroxila e cálcio liberados durante a hidratação. O meio alcalino afeta a viabilidade das células bacterianas através de mecanismos como a desnaturação das suas proteínas, inibição de suas atividades enzimáticas, e indução da desintegração da membrana plasmática através da destruição de ácidos graxos insaturados ou fosfolípidios das células bacterianas. Enquanto o cálcio promove o reparo tecidual e a formação de uma barreira construída por tecido mineralizado (Estrela C, *et al.*, 2023).

Os estudos realizados por Bukhari S. & Karabucak B. (2019), compararam a atividade antibacteriana entre o Endosequence BC Sealer® e o AH Plus®, utilizando biofilmes envelhecidos (com idade de 8 semanas) de *Enterococcus faecalis* aderidos a dentina do canal radicular. Trinta e cinco dentes uniradiculares, sem infecção de cárie foram extraídos e incluídos neste experimento. Os canais de dentina foram preparados, infectados e incubados durante 8

semanas. Após a infecção instaurada nos canais radiculares, os cimentos foram colocados e as avaliações foram realizadas em dois períodos: um de 24h e outro de 2 semanas. O EndoSequence BC Sealer provocou uma taxa de morte da bactéria *E. faecalis* duas vezes maior que a do AH Plus em todos os períodos testados.

Boser R. e colaboradores em 2020 realizaram um estudo comparando a eficácia antibacteriana entre os cimentos biocerâmicos BioRoot RCS®, TotalFill BC® e os convencionais AH Plus® à base de resina epóxi e Tubli-seal® à base de óxido de zinco-eugenol, contra bactérias planctônicas de um biofilme multiespécies estressado por nutrientes. Para avaliar as propriedades antibacterianas, foram preparadas suspensões planctônicas de cinco cepas microbianas de um biofilme com estresse nutricional contendo 5 cepas endodônticas: *Propionibacterium acnes*, *Actinomyces radicidentis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus mitis/oralis* e *Enterococcus faecalis*. As bactérias foram retiradas das raízes de dentes com infecções endodônticas refratárias e *E. faecalis* e cultivadas em meio de cultura de forma anaeróbica. Os cimentos foram preparados e colocados em contato com as suspensões com as cepas. Foram realizadas contagens das células viáveis, análises de microscopia confocal de varredura a laser com coloração viva/morta para avaliar a atividade antimicrobiana. A avaliação do pH foi realizada em um período de 28 dias, utilizando solução Salina Balanceada de Hanks. Os resultados do teste de inibição do biofilme no intervalo de 14 dias mostraram que o BioRoot RCS, Tubli-seal e TotalFill BC provocaram maior taxa de mortalidade bacteriana em comparação ao AH Plus. Não foi observada diferença significativa entre BioRoot RCS, Tubli-seal e TotalFill BC. Com relação à inibição do crescimento do biofilme, o BioRoot RCS obteve maior eliminação microbiana, seguido pelo TotalFill BC e Tubli-seal. Os valores de pH foram testados após 15, 30, 60, 120 min e 1, 3, 7, 14, 28 dias. O TotalFill BC e BioRoot RCS exibiram alcalinização em todo período de avaliação. O pH do TotalFill BC se manteve alto nos primeiros 7 dias e se reduziu ao longo dos 21 dias. BioRoot RCS apresentou um aumento gradativo de pH nos primeiros 7 dias, mantendo o valor de pH aproximado de 12 até o dia 28. O cimento AH Plus induziu alcalinização na solução, mantendo um pH alto durante a fase de presa, com fraca atividade alcalinizante ao atingir a presa, já o Tubli-seal obteve baixa acidificação nos primeiros três dias, seguido por um pH neutro.

Munitić ŠM e colaboradores em 2020 realizaram um estudo *in vitro* para avaliar a eficácia antimicrobiana dos cimentos biocerâmicos TotalFill BC®, BioRoot RCS®, MTA Fillapex® e o cimento convencional AH Plus®, contra o biofilme de *Enterococcus faecalis* (*E.*

faecalis). A cepa bacteriana foi isolada a partir de um primeiro molar inferior humano com periodontite apical crônica sintomática. Discos de papel padronizados contendo os cimentos foram colocados com a suspensão da bactéria em meio de cultura. Um grupo sem a presença de cimento foi utilizado como controle positivo. Outro montado com os cimentos sem a presença da cepa bacteriana foi usado como controle negativo. Foi realizada a contagem das unidades formadoras de colônias (UFCs). Todos os cimentos avaliados reduziram de forma significativa as UFCs, sendo que os cimentos TotalFill BC sealer e o AH Plus exibiram maior eficácia.

Um estudo realizado por Barbosa V.M. e colaboradores em 2020 avaliou o potencial antibacteriano do cimento Bio-C Sealer®, nas bactérias *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* e *Streptococcus mutans*. Inicialmente todas as bactérias foram expostas ao contato de amostras frescas do Bio-C Sealer em um período de 24 horas, utilizando o método de difusão em ágar. O cimento biocerâmico demonstrou atividade bactericida contra todas as cepas, mas obteve menor eficácia para *Streptococcus mutans*. Em um segundo momento foi realizado outro experimento utilizando os cimentos biocerâmicos: Bio-C Sealer®, EndoSequence BC Sealer®, o cimento à base de óxido de zinco e eugenol: EndoFill®, os cimentos à base de hidróxido de cálcio: Sealer 26® e Sealapex®, e à base de resina epóxi AH Plus®, em biofilmes de bactérias *E. faecalis* e *S. mutans*, desenvolvidas em meio de cultura durante 48h. Foi realizado a contagem das unidades formadoras de colônias (UFC), e os resultados revelaram que após 48 horas o biocerâmico Bio-C Sealer apresentou resultados semelhantes aos outros cimentos endodônticos, quando avaliado o potencial antibacteriano em biofilmes de *E. faecalis*, e menor potencial que o cimento EndoFill em biofilmes de *S. Mutans*.

4.4 Propriedades físico-químicas

Um material obturador necessita apresentar características físico-químicas como fluidez, adesividade, espessura da película, radiopacidade, tempo de presa e solubilidade, adequados. Os cimentos biocerâmicos são materiais hidrofílicos e possuem partículas nanométricas, o que proporciona a estes fluidez e espalhamento ideais nas paredes do canal radicular, promovendo uma facilidade de penetração nos túbulos dentinários, istmos e canais laterais. Durante a hidratação, a formação de hidroxiapatita ocorrerá na interface entre o

cimento e a superfície dentinária, proporcionando uma ligação química a dentina da parede do canal e à guta-percha, atribuindo-lhe, dessa forma, uma alta adesividade (Caceres C. *et al.*, 2021; Rathod RK *et al.*, 2020).

A espessura de filme dos cimentos depende do tamanho das partículas e dos constituintes do material selador. Essa propriedade possui a capacidade de influenciar o molhamento e a vedação nas paredes dos canais radiculares. A recomendação ISO para espessura de película é de 50 μm , abaixo desse valor, pode ocorrer microvazamentos, diminuindo a qualidade de vedação (Hamdy TM *et al.*, 2024).

A radiopacidade é uma característica importante no tratamento endodôntico que auxilia o cirurgião dentista a diferenciar os materiais obturadores dos tecidos biológicos no canal radicular. Atualmente, as formulações dos cimentos biocerâmicos, apresentam como agente radiopacificador o tungstato de cálcio, óxido de zircônio, entre outros. Esses componentes além de promover uma boa radiopacidade, não provocam manchamento dentário, nem citotoxicidade (Huang G. *et al.*, 2022). O óxido de zircônio também possui outras características vantajosas como a sua estabilidade e a presença da fase tetragonal, atribuindo ao cimento melhores propriedades mecânicas, maior estabilidade e resistência à solubilidade, além disso, a maior quantidade de zircônio pode melhorar o escoamento e diminuir a espessura do filme do cimento (Hamdy T.M.; *et al.*, 2024).

O tempo de presa é influenciado por condições ambientais como a temperatura e umidade relativa, e fatores intrínsecos dos cimentos como a sua composição e tamanho das partículas, dessa forma, devido a necessidade do cimento biocerâmico de absorver água para atingir a plasticidade, o tempo de presa é prolongado (Zordan-Bronzel C.L. *et al.*, 2022). Com relação ao grau de solubilidade e o pH, sabe-se que estas são propriedades que se correlacionam, pois o pH alcalino é alcançado através da liberação dos íons OH^- e Ca^{2+} , e a liberação desses íons depende da solubilidade do material, que também é influenciada pelo pH do meio; a intensidade que ambas ocorrem permite investigar o desempenho dos cimentos ao longo do tempo, além disso, ambas apresentam o potencial de influenciar positivamente na cicatrização dos tecidos adjacentes à raiz, promover mineralização e ação antibacteriana. (Zordan-Bronzel C.L. *et al.*, 2022; Huang G. *et al.*, 2022).

A norma ISO 6876:2012 definiu que o valor máximo de solubilidade que um cimento endodôntico poderá apresentar quando submerso em água é de 3%. O valor acima disso

afetaria diretamente a capacidade de selamento, e portanto, o sucesso do tratamento endodôntico. A maior solubilidade dos cimentos biocerâmicos, quando comparada a cimentos convencionais, pode ocorrer devido à sua propriedade hidrofílica (Zordan-Bronzel C.L. *et al.*, 2022).

Caceres C. e colaboradores em 2021 realizaram um estudo *in vitro* para avaliar a penetração e adaptação do cimento biocerâmico Bio-C Sealer® (BIOC) nos túbulos dentinários em comparação com o cimento AH Plus® (AHP). Foram utilizadas 30 raízes extraídas, apresentando canais largos, retos e simples, com ápices totalmente formados. Os canais foram preparados endodonticamente e divididos em 2 grupos com n=14, um grupo foi obturado apenas com o cimento AHP e o outro com o BIOC. As amostras foram submetidas a análise das variáveis penetração tubular e adaptação, utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura. Os resultados obtidos indicaram uma penetração significativamente maior pelo Bio-C nos três terços radiculares. O cimento biocerâmico exibiu um espalhamento mais uniforme e homogêneo, com maior profundidade, sem interrupções e melhor adaptado às paredes dos túbulos quando comparado ao AH Plus. Ambos os cimentos ocuparam uma maior quantidade de túbulos no terço cervical, que foi reduzindo gradualmente conforme se aproximava ao terço apical, no qual se encontra uma dentina mais esclerosada com baixa permeabilidade. O cimento Bio-C Sealer possui características como hidrofílicidade, e tamanho de partículas nanométricas, que atribuem a este cimento maior fluidez, penetração mais profunda, gerando uma melhor adaptação aos túbulos dentinários (Caceres C. *et al.*, 2021).

Zordan-Bronzel C.L. e colaboradores 2022 desenvolveram um estudo com o objetivo de avaliar as propriedades físico-químicas, citocompatibilidade e atividade antibiofilme do cimento Sealer Plus BC® em comparação com o TotalFill BC Sealer® e o AH Plus®. Os parâmetros avaliados foram a radiopacidade, o tempo de presa e o escoamento seguindo as normas ISO 6876, e o pH, solubilidade e alteração volumétrica, por meio da imersão em água em um intervalo de tempo de 30 dias. Para análise das características biológicas, foram realizados ensaios de metiltetrazólio (MTT) e vermelho neutro (NR), avaliando citocompatibilidade, ensaios cristal violeta e contato direto modificado para a atividade antibacteriana contra *Enterococcus faecalis* e para *Candida albicans* foram realizados ensaios cristal violeta e contato direto modificado. Neste trabalho, os cimentos biocerâmicos obtiveram valores de pH, escoamento e solubilidade maiores que o AH Plus. Apesar da maior solubilidade dos biocerâmicos, todos os cimentos obtiveram valores similares de variação volumétrica. O menor tempo de presa foi obtido para o AH Plus. Todos os cimentos mostraram valores de

radiopacidade de acordo com a norma ISO 6876, no qual a radiopacidade deve apresentar um valor superior a 3 mm Al. O AH Plus não apresentou pH alcalino, sua característica hidrofóbica justifica a menor solubilidade. No que se refere às características biológicas, como a citocompatibilidade e atividade antibacteriana, os cimentos biocerâmicos apresentaram resultados melhores em comparação com o cimento à base de resina epóxi.

Zamparini F. e colaboradores em 2022 avaliaram as propriedades físico-químicas e a formação de apatita dos cimentos biocerâmicos: Ceraseal®, AH Plus Bioceramic® e Neosealer Flow®, comparados ao tradicional AH Plus®, que foi usado como controle. As análises foram realizadas em um período de 28 dias. Nas avaliações das características físico-químicas, o biocerâmico Ceraseal iniciou a presa de forma mais rápida comparado aos outros cimentos. Já o maior prolongamento para atingir a plasticidade final foi observado no cimento biocerâmico NeoSealer Flo e no convencional AH Plus. Os testes de radiopacidade mostraram que todos os selantes apresentaram valores maiores que 3,0 mmAl, seguindo as indicações da norma ISO. O biocerâmico Ceraseal exibiu maior fluidez e menor espessura de filme. A avaliação de volume de poros abertos, absorção de água e solubilidade demonstrou que o NeoSealer Flo e AH Plus Bioceramic apresentaram maiores resultados em comparação ao Ceraseal e o AH Plus. Em todos os períodos analisados os biocerâmicos apresentaram e mantiveram alto valor de pH, porém, o AH Plus forneceu uma leve acidificação da água de imersão desde o primeiro dia. A formação de fosfato de cálcio e apatita foi observada apenas nos cimentos biocerâmicos, indicando sua biocompatibilidade e bioatividade.

Variáveis físico-químicas foram avaliadas por Donnermeyer D. e colaboradores em 2022. Em seu trabalho os autores estudaram a solubilidade de curto e longo prazo, pH e a adequação para compactação vertical a quente do AH Plus Bioceramic® (AHBC) e do Selante BC Total Fill® (TFBC) em comparação ao AH Plus® (AHP). foram preparadas 10 amostras para o teste de solubilidade, realizado através de imersões dos cimentos durante 1 mês em água destilada, e em solução salina tamponada com fosfato (PBS) durante 4 meses. O pH foi medido semanalmente de forma paralela ao teste de solubilidade. Os testes de tratamento térmico foram a 37, 57, 67 e 97 °C por 30s. Após 14 e 28 dias os cimentos biocerâmicos obtiveram a maior solubilidade em água destilada e PBS comparados ao AHP, que não obteve solubilidade relevante, mostrando que o tipo de solução não influenciou o alto valor de solubilidade. Com relação ao pH, os cimentos AHBC e TFBC exibiram alta alcalinidade em 24h. Em água destilada, o TFBC se manteve altamente alcalino durante o período de 28 dias, e apresentou uma redução lenta, mantendo-se alcalino por quase 4 meses, enquanto o pH do AHBC reduziu no período de 14 dias. O mesmo ocorreu nos ensaios de PBS. Após 6 semanas, o AHBC quase

diminuiu para o pH inicial da solução de PBS. Um fator que explicaria a diferença no prolongamento do pH alcalino, é o tipo de silicato de cálcio que o cimento biocerâmico possui, pois cimentos com silicato dicálcico, como o TFBC possui um efeito alcalinizante mais duradouro devido a sua cinemática de reação mais lenta em comparação aos silicatos tricálcicos, como o AHBC que apresentam maior reatividade na fase inicial de presa. A respeito dos tratamentos térmicos através da obturação a quente, não houve interferência da alta temperatura nas características de tempo de presa, espessura do filme e o fluxo de todos os cimentos.

Estudos *in vitro* realizados por Hamdy T.M. e colaboradores em 2024 avaliaram as propriedades físico-químicas, estrutura cristalográfica e análise química elementar dos cimentos biocerâmicos AH Plus Bioceramic Sealer® e Bio-C Sealer®, comparando-os com um cimento à base de resina ADseal root canal sealer®. Realizaram-se testes de solubilidade, análise de pH, liberação de íons de cálcio nos intervalos de tempo de 7 e 14 dias; e espessura do filme em intervalos de 7 e 10 minutos. Todas as avaliações realizadas seguiram as diretrizes ISO. No que se refere à solubilidade, os biocerâmicos apresentaram-se mais solúveis, porém, todos os cimentos obtiveram valores menores que 3%, estando de acordo com as normas ISO. Todos os selantes testados exibiram um pH maior que de 8,5 dentro de todos os intervalos, sendo que o AH Plus Bioceramic Sealer e o Bio-C Sealer mostraram maior alcalinidade. No intervalo de 14 dias o AH Plus Bioceramic Sealer expôs uma maior liberação de cálcio, menor espessura do filme e melhor escoamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados e incluídos 19 estudos que utilizaram experimentos *in vitro* e *in vivo* para avaliar e comparar as propriedades biológicas e físico-químicas entre os cimentos biocerâmicos e os convencionais. Desses artigos, nove estudos avaliaram a biocompatibilidade e bioatividade, cinco avaliaram as propriedades antimicrobianas e cinco estudos compararam as propriedades físico-químicas.

Tabela 1. Biocompatibilidade e bioatividade

Autor/ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
Benetti <i>et al.</i> (2019)	Avaliar a citotoxicidade e a biocompatibilidade do <i>Sealer Plus BC</i> ® em comparação com <i>MTA Fillapex</i> ® e <i>AH Plus</i> ®.	Para o experimento <i>in vitro</i> foram utilizados fibroblastos em contato com os cimentos em concentrações 1:50, 1:100 e 1:200 No experimento <i>in vivo</i> foram utilizados tubos de etileno preenchidos com os cimentos e implantados no tecido subcutâneo de 16 ratos. As análises foram realizadas nos períodos de 7 e 30 dias.	Na maior concentração o <i>AH Plus</i> apresentou maior taxa de morte celular, enquanto o <i>Sealer Plus BC</i> exibiu aumento significativo da proliferação celular Em menores concentrações (1:100 e 1:200), o <i>Sealer Plus BC</i> apresentou resposta inflamatória grave, já o <i>MTA Fillapex</i> e <i>AH Plus</i> obtiveram inflamação moderada. Aos 30 dias, o <i>MTA</i> e <i>AH Plus</i> obtiveram inflamação moderada, o <i>SP</i> apresentou inflamação leve.

<p>Seo DG. <i>et al.</i> (2019)</p>	<p>Avaliar e comparar a citotoxicidade e bioatividade entre os cimentos biocerâmicos EndoSequence BC Sealer®, BioRoot RCS®, Endoseal MTA® e o cimento convencional AH Plus®</p>	<p>Foram utilizadas Células Tronco da Polpa Dentária Humana (hBPSC) cultivadas em um meio de cultura, em contato com discos contendo os cimentos. As avaliações da citotoxicidade, migração celular, e morfologia celular foram realizadas, respectivamente, pelos ensaios de Metil-Tiazol Difenil-Tetrazólio (MTT), método de cicatrização de feridas por arranhão, e microscópio eletrônico de varredura.</p>	<p>Os biocerâmicos apresentaram maior viabilidade e migração celular</p> <p>As células em contato com os biocerâmicos exibiram uma morfologia achatada e adesão celular superior comparado às células em contato com AH Plus</p> <p>A formação de nódulos de cálcio foi significativamente maior no grupo dos biocerâmicos</p>
<p>López-Garcia S. <i>et al.</i> (2020)</p>	<p>Comparar as propriedades biológicas e a bioatividade entre três cimentos à base de silicato de cálcio: EndoSequence BC Sealer®, Ceraseal® e Endoseal mineral trioxide aggregate®</p>	<p>Foram utilizadas células-tronco do Ligamento Periodontal Humano (hPDLSCs), em meio de cultura, em contato com os eluatos dos cimentos. Para avaliação da osteogênese, foi utilizado a expressão do gene ALP, já para a cementogênese foram usados o CEMP-1 e o CAP. O cultivo das células foi feito em 3, 7, 14 e 21 dias.</p>	<p>Todos os cimentos apresentaram pH alcalino, migração e adesão celular, superexpressão ALP, CEMP-1 e CAP, mostrando resultados significativamente maiores que o grupo controle, indicando forte potencial de regeneração tecidual e selamento biológico pelos cimentos biocerâmicos.</p>

<p>Alves <i>et al.</i> (2020)</p>	<p>Avaliar a biocompatibilidade e a bioatividade de dos cimentos biocerâmicos Bio-C Sealer® e Sealer Plus BC® em comparação com AH Plus® em tecido subcutâneo de ratos.</p>	<p>Tubos de polietileno contendo os cimentos foram implantados no tecido subcutâneo de ratos. O período de análises foi de 7, 15, 30 e 60 dias. As células inflamatórias foram marcadas por imunomarcadores de interleucina (IL)-6 e foram avaliadas utilizando microscopia óptica. As análises dos cortes em von kossa e a detecção de osteocalcina também foram realizadas.</p>	<p>A deposição óssea foi identificada em 15 a 60 dias nos túbulos com cimentos biocerâmicos, mas não foi observada para o cimento AH Plus. Em 60 dias houve um aumento significativo da inflamação para o AH Plus, já os cimentos biocerâmicos apresentaram uma redução gradual de células inflamatórias, intensa remodelação tecidual, produção de fibras de colágeno bem orientadas, formando tecido conjuntivo denso no local que antes havia a inflamação.</p>
<p>Erdogan H. <i>et al.</i> (2021)</p>	<p>Analisar a biocompatibilidade dos cimentos AH Plus® à base de resina epóxi, MTA-Fillapex® à base de salicilato e o iRootSP® à base de silicato de cálcio.</p>	<p>Foram utilizados fibroblastos do ligamento periodontal humano (hPDLFCs), em meio de cultura, e colocados em contato com os cimentos. As avaliações foram realizadas por testes de genotoxicidade de micronúcleos e citotoxicidade XTT.</p>	<p>A citotoxicidade e genotoxicidade foram observadas no AH Plus e MTA. Já o iRootSP não provocou o aumento de micronucleotídeos, e manteve uma quantidade maior de células viáveis em todas as suas concentrações.</p>

<p>Sanz J.L. <i>et al.</i> (2022)</p>	<p>Comparar o potencial de bioatividade e citocompatibilidade entre os cimentos de silicato de cálcio AH Plus Bioceramic Sealer® (AHBC), Endosequence BC Sealer® (ESBC) e AH Plus® (AHP), através de um experimento <i>in vitro</i> utilizando células-tronco do ligamento periodontal humano (hPDLSCs)</p>	<p>Foram utilizadas diferentes concentrações dos cimentos: 1:1, 1:2 e 1:4. Os HPDLSCs foram isolados do terço apical e médio de terceiros molares extraídos por motivos ortodônticos ou periodontais e cultivados em meio de cultura. as análises foram feitas em um intervalo de tempo de 24h, 48h e 72h.</p>	<p>Os cimentos biocerâmicos influenciaram positivamente a migração, morfologia, fixação, diferenciação celular e biomineralização de hPDLSC, já AH Plus, reduziu a viabilidade, proliferação celular e provocou morfologia e fixação aberrantes. Os hPDLSCS cultivados com os biocerâmicos exibiram pelo menos um marcador cementogênico, osteogênico e odontogênico em comparação com o grupo de controle negativo e positivo, mostrando seus potenciais de induzir a plasticidade celular, e melhorando o processo de cicatrização de defeitos periodontais e lesões de origem endodôntica.</p>
---------------------------------------	---	--	---

<p>Sanz J.L. <i>et al.</i> (2024)</p>	<p>Comparar a citocompatibilidade, bioatividade e potencial antiinflamatório entre cimentos à base de silicato de cálcio: Bioroot Flow® (BrF), AH Plus Bioceramic Sealer® (AHBC) e o cimento à base de resina epóxi AH Plus® (AHP).</p>	<p>Foram utilizados hPDLSCs de terceiros molares extraídos de pacientes saudáveis, e preparados 15 discos com os eluatos dos cimentos nas diluições de 1:1, 1:2, 1:4. As análises ocorreram nos intervalos de tempo de 24h, 48h e 72h.</p>	<p>Em todos os intervalos de tempo e diluições, o AH Plus apresentou migração e atividade metabólica significativamente menor, morfologias aberrantes, com baixa contagem de células fusiformes, falta de adesão e presença de detritos em suas superfícies.</p> <p>As células do hPDLSCs que foram cultivadas com os cimentos biocerâmicos exibiram morfologia fusiforme, funcionalmente alongadas e fixadas às suas superfícies em todas as diluições, atividade de formação de cimento, regeneração, e mineralização do periodonto.</p>
---	---	--	--

<p>Inada J.L. <i>et al.</i> (2024)</p>	<p>Avaliar a biocompatibilidade, bioatividade, porosidade e interface selante/dentina dos cimentos Sealer Plus BC® (SP), Bio-C Sealer® (BC), TotalFill BC Sealer® (TF) e AH Plus® (AHP).</p>	<p>Foram utilizados hPDLSCs de terceiros molares extraídos de pacientes saudáveis, e preparados 15 discos com os eluatos dos cimentos nas diluições de 1:1, 1:2, 1:4. As análises ocorreram nos intervalos de tempo de 24h, 48h e 72h.</p>	<p>A espessura das cápsulas do AH Plus e o número de células imunomarcadoras de IL-6 foi significativamente maior em todos os períodos. Aos 15 dias os cimentos biocerâmicos apresentaram formação de fibroblastos entre o infiltrado inflamatório, e após 30 e 60 dias havia predominância de fibroblastos entre fibras de colágeno. Nesse mesmo período o AHP ainda exibia várias células inflamatórias. Células imunomarcadoras de osteocalcina foram observadas apenas nas cápsulas dos grupos dos cimentos biocerâmicos em todos os períodos. As cápsulas de todos os cimentos exibiram estruturas von Kossa-positivas no período de 7 e 60 dias. Em todos os grupos houve aumento da porosidade e vazios em 60 dias, sendo que a porcentagem de vazios se manteve semelhante em todos os períodos.</p>
--	--	--	--

Santos <i>et al.</i> (2023)	Avaliar o potencial de reparação tecidual dos cimentos biocerâmicos EndoSequence BC Sealer®, Bio-C Sealer®, Bioroot RCS® e Sealer Plus BC®, através da produção de colágeno tipo I e III.	Foram implantados tubos de polietileno contendo os cimentos endodônticos no tecido subcutâneo de ratos. Após 14 dias os ratos foram sacrificados, e foi realizada a quantificação das fibras de colágeno.	Todos os cimentos exibiram aumento na produção total de colágeno, comprovando a sua biocompatibilidade. O processo de cicatrização é indicado através da formação das fibras de colágeno. O colágeno tipo I está intimamente ligado à fase final do processo de reparação tecidual, fornece um ambiente propício e induzir o agrupamento e diferenciação de células-tronco osteo-odontogênicas. Além disso, a presença desse tipo de colágeno sinaliza a homeostase das células-tronco, indicando biocompatibilidade dos cimentos biocerâmicos.
--------------------------------	---	---	---

Tabela 2. Propriedade antimicrobiana

Autor/ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
Bukhari S. & Karabucak B. (2019)	Comparar a atividade antibacteriana entre o Endosequence BC Sealer® e o AH Plus®, utilizando biofilmes envelhecidos (com idade de 8 semanas) de <i>Enterococcus faecalis</i> aderidos a	Trinta e cinco dentes uniradiculares, sem infecção de cárie foram extraídos. Os canais de dentina foram preparados, infectados e incubados durante 8 semanas. Após a infecção instaurada, os cimentos foram colocados e as avaliações foram realizadas em dois	O EndoSequence BC Sealer provocou uma taxa de morte da bactéria <i>E. faecalis</i> duas vezes maior que a do AH Plus em todos os períodos testados.

	dentina do canal radicular	períodos: um de 24h e outro de 2 semanas.	
Boser R. <i>et al.</i> (2020)	Comparar a eficácia antibacteriana entre os cimentos biocerâmicos BioRoot RCS®, TotalFill BC® e os convencionais AH Plus® à base de resina epóxi e Tubli-seal® à base de óxido de zinco-eugenol, contra bactérias planctônicas de um biofilme multiespécies estressado por nutrientes	Foram preparadas suspensões planctônicas com estresse nutricional contendo 5 cepas endodônticas: <i>Propionibacterium acnes</i> , <i>Actinomyces radidentis</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Streptococcus mitis/oralis</i> e <i>Enterococcus faecalis</i> . As bactérias foram retiradas das raízes de dentes com infecções endodônticas refratárias. Os cimentos foram preparados e colocados em contato com as suspensões com as cepas.	Os biocerâmicos provocaram maior taxa de mortalidade bacteriana em comparação ao AH Plus.

<p>Munitić ŠM <i>et al.</i> (2020)</p>	<p>Realizar um estudo <i>in vitro</i> para avaliar a eficácia antimicrobiana dos cimentos biocerâmicos TotalFill BC®, BioRoot RCS®, MTA Fillapex® e o cimento convencional AH Plus®, contra o biofilme de <i>Enterococcus faecalis</i> (<i>E. faecalis</i>).</p>	<p>A cepa bacteriana foi isolada de molar inferior humano com periodontite apical crônica sintomática. Os cimentos foram colocados com a suspensão da bactéria em meio de cultura</p>	<p>Todos os cimentos avaliados reduziram de forma significativa as UFCs, sendo que os cimentos TotalFill BC sealer e o AH Plus exibiram maior eficácia.</p>
<p>Barbosa V.M. <i>et al.</i> (2020)</p>	<p>Avaliar o potencial antibacteriano do cimento Bio-C Sealer®, nas bactérias <i>Enterococcus faecalis</i>, <i>Escherichia coli</i>, <i>Pseudomonas aeruginosa</i>, <i>Staphylococcus aureus</i> e <i>Streptococcus mutans</i>.</p>	<p>As bactérias foram cultivadas e expostas ao contato de amostras frescas do Bio-C Sealer em um período de 24 horas. Em outra etapa foram utilizados os cimentos Bio-C Sealer®, EndoSequence BC Sealer®, EndoFill®, Sealer 26® e Sealapex®, AH Plus®, em biofilmes de bactérias <i>E. faecalis</i> e <i>S. mutans</i>, desenvolvidas em meio de cultura durante 48h.</p>	<p>O Bio-C Sealer demonstrou atividade bactericida contra todas as cepas, mas obteve menor eficácia para <i>Streptococcus mutans</i>. Bio-C Sealer apresentou um potencial antibacteriano semelhante aos outros cimentos endodônticos, em biofilmes de <i>E. faecalis</i>, e menor potencial que o cimento EndoFill em biofilmes de <i>S. Mutans</i>.</p>

Erdogan H. <i>et al.</i> (2021)	Analisar a biocompatibilidade dos cimentos AH Plus® à base de resina epóxi, MTA-Fillapex® à base de salicilato e o iRootSP® à base de silicato de cálcio.	Foram utilizados fibroblastos do ligamento periodontal humano (hPDLFCs), em meio de cultura, e colocados em contato com eluatos dos cimentos. As avaliações foram realizadas por testes de genotoxicidade de micronúcleos e citotoxicidade XTT.	A citotoxicidade e genotoxicidade foram observadas no AH Plus e MTA. Já o iRootSP não provocou o aumento de micronucleotídeos, e manteve uma quantidade maior de células viáveis em todas as suas concentrações.
------------------------------------	---	---	--

Tabela 3. Propriedades físico-químicas

Autor/ano	Objetivo	Metodologia	Resultados
Caceres C. <i>et al.</i> (2021)	Avaliar a penetração e adaptação do cimento biocerâmico Bio-C Sealer® nos túbulos dentinários em comparação com o cimento AH Plus®.	Foram utilizadas 30 raízes extraídas, apresentando canais largos, retos e simples, com ápices totalmente formados. Os canais foram preparados endodonticamente e obturados com os cimentos avaliados.	Os resultados obtidos indicaram uma penetração significativamente maior pelo Bio-C nos três terços radiculares. O cimento biocerâmico exibiu um espalhamento mais uniforme e homogêneo, com maior profundidade, sem interrupções e melhor adaptado às paredes dos túbulos quando comparado ao AH Plus.

<p>Zordan-Bronzel C.L. <i>et al.</i> (2022)</p>	<p>Avaliar as propriedades físico-químicas, citocompatibilidade e atividade antibiofilme do cimento Sealer Plus BC® em comparação com o TotalFill BC Sealer® e o AH Plus®</p>	<p>Foram preparadas suspensões planctônicas com estresse nutricional contendo 5 cepas endodônticas: <i>Propionibacterium acnes</i>, <i>Actinomyces radidentis</i>, <i>Staphylococcus epidermidis</i>, <i>Streptococcus mitis/oralis</i> e <i>Enterococcus faecalis</i>. As bactérias foram retiradas das raízes de dentes com infecções endodônticas refratárias. Os cimentos foram preparados e colocados em contato com as suspensões com as cepas.</p>	<p>Os cimentos biocerâmicos obtiveram valores de pH, escoamento e solubilidade maiores que o AH Plus. Apesar da maior solubilidade dos biocerâmicos, todos os cimentos obtiveram valores similares de variação volumétrica. O menor tempo de presa foi obtido para o AH Plus. Todos os cimentos mostraram valores de radiopacidade de acordo com a norma ISO 6876.</p>
---	---	---	--

<p>Zamparini F. <i>et al.</i> (2022)</p>	<p>Avaliaram as propriedades físico-químicas e a formação de apatita dos cimentos biocerâmicos: Ceraseal®, AH Plus Bioceramic® e Neosealer Flow®, comparados ao tradicional AH Plus®</p>	<p>Foram realizadas análises das características físico-químicas no período de 28 dias.</p>	<p>O Ceraseal iniciou a presa de forma mais rápida, já o maior prolongamento para atingir a plasticidade final foi obtido pelo NeoSealer Flo e AH Plus. Todos os cimentos apresentaram radiopacidade dentro dos padrões da norma ISO. O Ceraseal exibiu maior fluidez e menor espessura de filme. O NeoSealer Flo e AH Plus Bioceramic apresentaram maiores resultados para volume de poros abertos, absorção de água e solubilidade em comparação ao Ceraseal e o AH Plus. Em todos os períodos analisados os biocerâmicos apresentaram e mantiveram alto valor de pH.</p>
<p>Donnermeyer D. <i>et al.</i> (2022)</p>	<p>Estudar a solubilidade de curto e longo prazo, pH e a adequação para compactação vertical a quente do AH Plus Bioceramic® (AHBC) e do Selante BC Total Fill® (TFBC) em comparação ao AH Plus® (AHP).</p>	<p>Foram preparadas 10 amostras para o teste de solubilidade, realizado através de imersões dos cimentos durante 1 mês em água destilada, e em solução salina tamponada com fosfato (PBS) durante 4 meses. O pH foi medido semanalmente de forma paralela ao teste de solubilidade.</p>	<p>Após 14 e 28 dias os cimentos biocerâmicos obtiveram a maior solubilidade em água destilada e PBS comparados ao AHP, que não obteve solubilidade relevante, mostrando que o tipo de solução não influenciou o alto valor de solubilidade.</p> <p>A respeito dos tratamentos térmicos através da obturação a quente, não houve interferência da alta temperatura nas características de</p>

			tempo de presa, espessura do filme e o fluxo de todos os cimentos.
Hamdy T.M. <i>et al.</i> (2024)	Avaliar as propriedades físico-químicas, estrutura cristalográfica e análise química elementar dos cimentos biocerâmicos AH Plus Bioceramic Sealer® e Bio-C Sealer®, comparando-os com um cimento à base de resina ADseal root canal sealer®.	Realizaram-se testes de solubilidade, análise de pH, liberação de íons de cálcio nos intervalos de tempo de 7 e 14 dias; e espessura do filme em intervalos de 7 e 10 minutos. Todas as avaliações realizadas seguiram as diretrizes ISO.	Os biocerâmicos apresentaram-se mais solúveis, porém, todos os cimentos obtiveram valores menores que 3%, estando de acordo com as normas ISO. Todos os cimentos exibiram um pH maior que de 8,5 dentro de todos os intervalos, sendo que o AH Plus Bioceramic Sealer e o Bio-C Sealer mostraram maior alcalinidade. No intervalo de 14 dias o AH Plus Bioceramic Sealer expôs uma maior liberação de cálcio, menor espessura do filme e melhor escoamento.

Avaliar o potencial de biocompatibilidade, regeneração e reparação tecidual dos cimentos endodônticos é crucial para alcançar a segurança no pós-operatório, e previsibilidade dos resultados. Os cimentos endodônticos biocerâmicos são classificados como biocompatíveis e bioativos devido a capacidade de interagir com os tecidos dentários e periapicais pelo contato direto ou indireto através da difusão de componentes, induzindo a sua regeneração (Fonseca DA *et al.*, 2019; Guo J. *et al.*, 2023).

Apesar de apresentarem uma grande variabilidade na sua composição, possuem o silicato de cálcio como componente principal em suas formulações, sendo esse o precursor de suas características biológicas excelentes como a biocompatibilidade, atividade antibacteriana e capacidade de mineralização. Durante a presa, os silicatos de cálcio sofrem a hidratação formando fases de hidrato de cálcio, como gel de hidrato de silicato de cálcio coloidal poroso e cristais de hidrato de silicato de cálcio aciculares radiais, cristais de hidróxido de cálcio, cristais de trissulfato de alumínio hexacálcico e monossulfoaluminato de cálcio ou monocarboaluminato de cálcio. A reação de presa ocorre em um tempo prolongado, levando

vários dias para que o material esteja todo em fase plástica, e esse fator corrobora com a longevidade das suas funções biológicas (Donnermeyer D. *et al.*, 2019).

Resultados compatíveis com a literatura a respeito das excelentes características biológicas presentes nos cimentos biocerâmicos foram encontrados nos trabalhos realizados por Seo DG. *et al.*, 2019, López-Garcia S. *et al.* (2020), Alves *et al.* (2020), Erdogan H. *et al.*, (2021), Sanz J.L. *et al.*, 2022, Santos *et al.*, (2023), Sanz J.L. *et al.*, (2024), Inada *et al.*, (2024). Os estudos compararam as atividades biológicas entre o grupo dos cimentos biocerâmicos e os cimentos convencionais, tendo este como seu principal representante o AH Plus. A biocompatibilidade, ação regeneradora e bioatividade foram observadas apenas nos cimentos biocerâmicos. Nos experimentos avaliados, esse grupo demonstrou alta citocompatibilidade em importantes grupos celulares como as células tronco da polpa dentária e do ligamento periodontal, fibroblastos e osteoblastos, induzindo o recrutamento, adesão e proliferação de células-tronco, e proporcionando um microambiente favorável para a diferenciação celular. Foi observado um rápido início da regressão da inflamação, e estimulação da regeneração tecidual, evidenciada pela produção de fibroblastos e fibras de colágeno no local anteriormente ocupado por infiltrado inflamatório. A mineralização foi evidenciada através da produção de osteocalcina, nódulos de cálcio, estruturas mineralizadas birrefringentes à luz polarizada, promovendo a cementogênese e osteogênese. Por outro lado, nesses estudos, o cimento à base de resina epóxi AH Plus exibiu efeito citotóxico, com elevada taxa de morte celular, presença de células com morfologia aberrante, aumento acentuado e duradouro de células inflamatórias, atraso na cicatrização, além da ausência de bioatividade.

O pH alcalino e os produtos bioativos liberados pelos cimentos biocerâmicos justificam as suas características biológicas encontradas nos experimentos. O hidróxido de cálcio produzido possui potencial para induzir a formação de tecido mineralizado a partir de sua dissociação iônica em cálcio e hidroxila. Os íons hidroxila provocam a desnaturação das proteínas dos tecidos em contato com o cimento, e esse processo permite a entrada dos íons de cálcio na interface entre o tecido desnaturado e o tecido viável. O dióxido de cálcio presente no tecido vivo reage com os íons de cálcio provocando a precipitação de granulações amorfas de carbonato de cálcio, que são estruturas birrefringentes à luz polarizada. Abaixo dessas camadas são encontradas áreas de calcificações distróficas formadas por complexos cálcio-proteína, formando uma barreira de tecido duro (Estrela C. *et al.*; 2023).

Os resultados apresentados pelo AHP estão associados à formação de produtos tóxicos durante a reação de seus componentes na mistura das pastas, que atribuem a esse cimento um efeito inicial de citotoxicidade, que é reduzido de forma gradual conforme a presa é alcançada (Seo DG *et al.*, 2019; Wang Z *et al.*, 2021; Rathod RK *et al.*, 2020). Esse cimento é amplamente utilizado no tratamento endodôntico e em estudos comparativos como material de referência devido às suas propriedades físico-químicas adequadas, no entanto, vários trabalhos, em convergência aos estudos citados, abordaram seu efeito citotóxico, sendo essa sua principal característica negativa (Fonseca *et al.*, 2019; Guo J.*et al.*, 2023).

Em contradição ao desempenho superior dos cimentos biocerâmicos em relação aos convencionais para a característica de biocompatibilidade, os estudos de Zordan-Bronzel C.L. *et al.*, (2022) demonstraram que citocompatibilidade do cimento convencional AH Plus foi semelhante aos biocerâmicos Sealer Plus Bc e TotalFill BC Sealer; já no trabalho realizado por Benetti F. *et al.*, (2019), em baixas concentrações o AH Plus proporcionou maior viabilidade celular e crescimentos de fibroblastos comparado a menor concentração do Sealer Plus BC, de forma que nos primeiros 7 dias o cimento biocerâmico apresentou reação inflamatória grave, enquanto que o MTA Fillapex e o AH Plus apresentaram inflamação moderada. No entanto, em concentrações mais altas, o Sealer Plus BC apresentou efeitos biocompatíveis superiores ao AHP, com maior rapidez para redução inflamatória e cicatrização, e maior viabilidade celular, de forma que, em 30 dias enquanto o MTA e o AHP exibiram uma inflamação moderada, o SP apresentou inflamação leve.

A causa dessa reação inflamatória apresentada por baixas concentrações do Sealer Plus BC ainda não foi explicada, sendo necessário a realização de mais estudos a respeito da sua composição e ação nos tecidos. No entanto, a identificação de uma inflamação inicial proporcionada pelos cimentos biocerâmicos pode ser atrelada ao pH alcalino, que inicialmente promove a necrose do tecido em contato, recrutamento de células inflamatórias e a produção de citocinas pró-inflamatórias. Porém, após esse período inicial, o efeito alcalino estimula a cicatrização e formação de tecidos mineralizados (Inada *et al.*, 2024).

Outra característica biológica dos cimentos biocerâmicos que também está associada ao pH alcalino é a atividade antibacteriana. Em alguns estudos, os cimentos biocerâmicos apresentaram efeito antibacteriano significativamente maior em comparação aos convencionais, como nos trabalhos realizados por Boser R. *et al.*, (2020), que compararam a atividade antibacteriana e o pH entre cimentos biocerâmicos e cimentos convencionais à base

de resina epóxi e outro à base de óxido de zinco-eugenol, contra bactérias planctônicas e biofilme de multiespécies estressado por nutrientes, demonstrando que apenas os cimentos biocerâmicos induziram efeito alcalinizante e mantiveram o pH alcalino durante todo o período de avaliação, e paralelo a isso, provocaram a maior taxa de mortalidade bacteriana. Nos experimentos realizados por Bukhari S. e Karabucak B. (2019), o cimento biocerâmico provocou uma taxa de morte bacteriana duas vezes maior que a do cimento convencional em todos os períodos testados, no entanto, ao invés de bactérias planctônicas, foram utilizados biofilmes envelhecidos de *Enterococcus faecalis* aderidos a dentina do canal radicular, demonstrando a sua maior eficácia mesmo em biofilmes mais resistente, porém, ambos os grupos não eliminaram completamente as bactérias. Em convergência a esse resultado, o trabalho realizado por Munitić ŠM. *et al.*, (2020), demonstrou que tanto o grupo de cimentos biocerâmicos quanto o convencional provocaram redução das unidades formadoras de colônias, porém, também não foi observada erradicação completa dos biofilmes. Os experimentos realizados por Barbosa V.M., *et al.* (2020) demonstraram a eficácia antibacteriana do cimento biocerâmico Bio-C Sealer, contra as principais bactérias que ocorrem em infecções endodônticas persistentes como a *E. faecalis*, *E. coli*, *P. aeruginosa* e *S. aureus*, no entanto o mesmo obteve uma menor eficácia para *S. mutans*. Ao avaliar os cimentos Bio-C Sealer, EndoFill, Sealer 26, AH Plus, Sealapex e EndoSequence BC Sealer, contra os biofilmes *E. faecalis* e *S. mutans* foi possível observar que todos os cimentos impossibilitaram o crescimento dos patógenos, porém, o EndoFill apresentou maior inibição para *Streptococcus mutans*, enquanto o Bio-C Sealer apresentou a menor eficácia.

A pequena taxa de sobrevivência bacteriana observada nos estudos pode estar associada ao uso da cepa selvagem, pois estas possuem maior resistência aos cimentos endodônticos quando comparadas às cepas planctônicas, que devido a sua maior suscetibilidade, se distanciam do quadro de infecção radicular apresentado na clínica (Munitić ŠM. *et al.*, 2020). A bactéria *E. faecalis* possui fatores de virulência e mecanismos de sobrevivência à preparação química-mecânica do canal radicular, a *S. Mutans* possui a habilidade de se recuperar e voltar a crescer após a rápida elevação de pH, e devido a isso são comumente encontradas em infecções endodônticas recorrentes, o que torna necessário a utilização desses patógenos para a avaliação da eficácia antibacteriana dos cimentos (Barbosa V.M., *et al.* 2020).

Diante desses estudos, foi possível comprovar a atividade antibacteriana mesmo em biofilmes mais maduros e com cepas mais resistentes. Essa característica, no que se refere aos

cimentos biocerâmicos, assim como a biocompatibilidade e bioatividade também está associada à liberação prolongada dos hidróxido de cálcio e hidroxila pelos cimentos biocerâmicos, bem como seu efeito alcalino. Os íons limitam os efeitos deletérios que as bactérias mais virulentas provocam nos tecidos, pois são capazes de inativar as endotoxinas bacterianas (LPS). Já o papel do pH alcalino está associado ao poder de inativação das enzimas presentes na membrana celular desses microrganismos, provocando a destruição da sua integridade ou a perda da atividade biológica. Além disso, algumas bactérias conseguem atingir uma estabilidade na sua viabilidade em altos valores de pH, dessa forma, a capacidade desses cimentos de manter um alto valor de pH e prolongar a atividade alcalina aumenta o seu potencial de destruição dessas células mais resistentes (Barbosa V.M., *et al.* 2020).

Apesar da grande importância das características biológicas, para que o tratamento endodôntico tenha sucesso, o cimento endodôntico precisa apresentar características físico-químicas adequadas, pois estas refletirão em um selamento ideal e maior resistência. Nos estudos realizados Caceres C. *et al.*, (2021), o Bio-C Sealer exibiu maior penetração, espalhamento mais uniforme, homogêneo, ininterrupto, e melhor adaptação do que o cimento convencional AH Plus. O desempenho do cimento biocerâmico pode ser explicado através das características apresentadas por este grupo, como a hidrofília, partículas nanométricas, ausência de contração de polimerização, e a capacidade de formação de hidroxiapatita que promove ligação química entre o cimento e a dentina, possibilitando uma maior adaptação aos túbulos dentinários, e atribuindo uma alta capacidade de selamento. Já a hidrofobicidade observada no AH Plus, assim como o maior tamanho de partícula e a contração de polimerização, dificulta a penetração e adaptação às paredes tubulares (Caceres C. *et al.* 2021).

Zordan-Bronzel C.L. *et al.*, (2022), Zamparini F. *et al.*, (2022) Donnermeyer D. *et al.* (2022), e Hamdy T.M. *et al.*, (2024) ao compararem as propriedades físico-químicas dos cimentos biocerâmicos com o cimento convencional AH Plus, demonstraram que os cimentos biocerâmicos apresentaram um maior valor de pH, com efeito alcalinizante prolongado, o que também refletiu em uma maior solubilidade em comparação ao AH Plus. Tanto os cimentos biocerâmicos quanto o convencional apresentaram um desempenho compatível com as especificações ISO para fluidez, espessura de filme e radiopacidade. Os biocerâmicos também apresentaram liberação de cálcio, o que não foi visto para o cimento convencional. Apesar do cimento convencional apresentar menor solubilidade, no trabalho realizado por Zordan-Bronzel C.L. *et al.*, (2022) a variação volumétrica foi semelhante para ambos. Além disso, a solubilidade

em todos os estudos foi menor que 3%, seguindo a indicação do padrão a maior solubilidade em água não indica prejuízos *in vivo*, pois a formação de hidroxiapatita pode compensar e reduzir a solubilidade do cimento biocerâmico. Os estudos de Zamparini F. *et al.*, (2022) demonstraram que as análises de volume de poros abertos, absorção de água e solubilidade exibiram resultados significativamente maiores para os cimentos biocerâmicos em comparação ao convencional. Donnermeyer D. *et al.*, (2022) também analisou o desempenho dos cimentos biocerâmicos em comparação ao convencional durante a obturação a quente, e não foi observado interferência dessa técnica nos valores do tempo de presa, espessura do filme e escoamento para ambos os grupos, confirmando a capacidade desses cimentos de se manterem estáveis e dentro dos limites definidos pela ISO.

A liberação dos íons biologicamente ativos está associada à capacidade que o cimento possui de ser solúvel e permeável à difusão da água. Portanto, cimentos com maior volume de poros abertos, apresentam maior superfície de contato com a água, aumentando sua absorção, e conseqüentemente, a solubilidade e o potencial de liberação dos íons. Por esse motivo, os cimentos biocerâmicos apresentaram maior solubilidade. É importante destacar que nos experimentos *in vitro*, (Zamparini F. *et al.*, 2022). Além disso, a alta porosidade contribui para a biocompatibilidade, pois aumenta a taxa e a firmeza de adesão celular (Erdogan H. *et al.*, 2021). Esse resultado indica que os cimentos biocerâmicos apresentam uma alta solubilidade nos períodos iniciais, no entanto adquirem estabilidade conforme a presa é adquirida, já que a precipitação de hidroxiapatita que ocorre durante a presa, provoca o aumento da massa dos selantes, reduzindo a taxa de solubilidade. Dessa forma, a reposição prolongada de hidróxido de cálcio acaba compensando a alta solubilidade inicial. (Donnermeyer D. *et al.*, 2022).

6 CONCLUSÃO

Os cimentos biocerâmicos apresentaram características biológicas (biocompatibilidade, bioatividade, atividade antimicrobiana) superiores e físico-químicas comparáveis ou superiores aos cimentos convencionais, principalmente ao padrão ouro AH Plus, podendo ser a primeira opção de cimento de escolha para a blindagem dos sistemas de canais radiculares dentro do tratamento endodôntico.

REFERÊNCIAS

ALVES SEC, TANOMARU-FILHO M, DA SILVA GF, DELFINO MM, CERRI PS, GUERREIRO-TANOMARU JM. Biocompatibility and Bioactive Potential of New Calcium Silicate-based Endodontic Sealers: Bio-C Sealer and Sealer Plus BC. *J Endod.* 2020 Oct;46(10):1470-1477.

BARBOSA VM, PITONDO-SILVA A, OLIVEIRA-SILVA M, MARTORANO AS, RIZZI-MAIA CC, SILVA-SOUZA YTC, *et al.* Antibacterial Activity of a New Ready-To-Use Calcium Silicate-Based Sealer. *Braz Dent J.* 2020 Nov-Dec;31(6):611-616.

BENETTI F, de AZEVEDO QUEIROZ ÍO, OLIVEIRA PHC, CONTI LC, AZUMA MM, OLIVEIRA SHP., *et al.* Cytotoxicity and biocompatibility of a new bioceramic endodontic sealer containing calcium hydroxide. *Braz Oral Res.* 2019;33:e042.

BOSE R, IOANNIDIS K, FOSCHI F, BAKHSH A, KWLLY RD, DEB S, MANNOCCI F, NIAZI SA. Antimicrobial Effectiveness of Calcium Silicate Sealers against a Nutrient-Stressed Multispecies Biofilm. *J Clin Med.* 2020;9(9):2722.

BUKHARI S, KARABUCAK B. The Antimicrobial Effect of Bioceramic Sealer on an 8-week Matured *Enterococcus faecalis* Biofilm Attached to Root Canal Dentinal Surface. *J Endod.* 2019 Aug;45(8):1047-1052.

CACERES, C., LARRAIN, MR., MONSALVE, M., & PEÑA BF. Dentinal Tubule Penetration and Adaptation of Bio-C Sealer and AH-Plus: A Comparative SEM Evaluation. *European endodontic journal.* 2021, v. 6, e. 2, p. 216-20.

CAMILLERI, J., ATMEH A., LI X., MESCHI N. Present status and future directions: Hydraulic materials for endodontic use. *International endodontic journal.* 2022, v. 55 e. 3

DONNERMEYER D, BÜRKLEIN S, DAMMASCHKE T. Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. *Odontology* 2019; 107(4):421–36

DONNERMEYER D, SCHEMKAMPER P, BURKLEIN S, SCHÄFER E. Short and Long-Term Solubility, Alkalizing Effect, and Thermal Persistence of Premixed Calcium Silicate-Based Sealers: AH Plus Bioceramic Sealer vs. Total Fill BC Sealer. *Materials (Basel).* 2022 Oct 19;15(20):7320.

EI HACHEM R, KHALIL I, Le BRUNG G, PELLEN F, Le JEUNE B, DAOU M, EI OSTA N, NAAMAN A, ABOUD M. Dentinal tubule penetration of AH Plus, BC Sealer and a novel tricalcium silicate sealer: a confocal laser scanning microscopy study. *Clin Oral Investig*. 2019 v. 23, e. 4, p. 1871-1876.

ERDOGAN H; YILDIRIM, S; COBANKARA, FK. Cytotoxicity and genotoxicity of salicylate and calcium silicate-based root canal sealers on human periodontal ligament fibroblasts. *Australian Endodontic Journal*, v. 3, 2021, p. 645-653.

ESTRELA C, CINTRA LTA, DUARTE MAH, ROSSI-FEDELE G, GAVINI G, SOUSA-NETO MD. Mechanism of action of Bioactive Endodontic Materials. *Braz Dent J*. 2023;34(1):1-11.

FONSECA DA, PAULA AB, MARTO CM, COELHO A, PAULO S, MARTINHO JP, et al. Biocompatibility of Root Canal Sealers: A Systematic Review of In Vitro and In Vivo Studies. *Materials*. 2019 v. 12, e. 24, p. 4113.

GOMES, VP, DO NASCIMENTO JVM, GOMES FA, VITORIANOS MM, DE VASCONCELOS BC, ALBUQUERQUE NLG, VIANA LCTMC, AGUIAR BA. Análise integrativa dos cimentos biocerâmicos reparadores e suas características físico-químicas: uma revisão integrativa. *Brazilian Journal of Health Review*, 2023 v. 6, e. 1, p. 3349-3360.

GUO J, PETERS OA, HOSSEINPOUR S. Immunomodulatory Effects of Endodontic Sealers: A Systematic Review. *Dentistry Journal (Basel)*. 2023. v. 1, e.2, p. 54.

HAMDY TM, GALAL MM, ISMAIL AG, SABER S. Physicochemical properties of AH plus bioceramic sealer, Bio-C Sealer, and ADseal root canal sealer. *Head Face Med*. 2024;20(1):2. Published 2024 Jan 3.

HUANG, G. LIU SY, WU JL, QIU D, DONG YM. A novel bioactive glass-based root canal sealer in endodontics. *Journal of dental sciences*, 2022 v. 17, e. 1, p. 217-224.

INADA RNH, SILVA ECA, LOPES CS, QUEIROZ MB, TORRES FFE, DA SILVA GF. *et al*. Biocompatibility, bioactivity, porosity, and sealer/dentin interface of bioceramic ready-to-use sealers using a dentin-tube model. *Sci Rep*. 2024;14(1):16768.

LÓPEZ-GARCÍA S, MYONG-HYUN B, LOZANO A, GARCÍA-BERNAL D, FORNER L, LLENA C, *et al.* Cytocompatibility, bioactivity potential, and ion release of three premixed calcium silicate-based sealers. *Clinical Oral Investigations*. 2020 May;24(5):1749-1759.

MENDONÇA, GC.; TAVARES, KIMC.; SANTOS-JUNIOR, AO; PINTO, JC., GUERREIRO-TANOMARU, J., TANOMARU-FILHO, M. A new proposal for evaluating of the solubility of bioceramic materials in dentin tubes after immersion in PBS: a laboratory investigation. *Rev. odontol. UNESP (Online)*. 2023 ; 52

MUNITIĆ ŠM., BUDIMIR, A., JAKOVLJEVIĆ, S., ANIĆ, I., & BAGO, I. Short-Term Antibacterial Efficacy of Three Bioceramic Root Canal Sealers Against *Enterococcus Faecalis* Biofilms. *Acta stomatologica Croatica* (2020), v. 54, e.1, p. 3-9.

RATHOD RK, TAIDE PD, DUDHALE RD. Assessment of Antimicrobial Efficacy of Bioceramic Sealer, Epiphany Self-etch Sealer, and AH-Plus Sealer against *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*: An *In vitro* Study. *Niger J Surg*. 2020. v. 26, e. 2, p. 104-109.

SANTOS GSBD, CARVALHO CN, TAVARES RRJ, SILVA PGB, CANDEIRO GTM, MAIA FILHO EM. Tissue repair capacity of bioceramic endodontic sealers in rat subcutaneous tissue. *Braz Dent J*. 2023;34(3):25-32.

SANZ JL, LÓPEZ-GARCÍA S, GARCÍA-BERNAL D, *et al.* Comparative bioactivity and immunomodulatory potential of the new Bioroot Flow and AH Plus Bioceramic sealer: An *in vitro* study on hPDLSCs. *Clin Oral Investig*. 2024, v. 28, e.3, p. 195.

SANZ, JL., LÓPEZ-GARCÍA, S., RODRÍGUES-LOZANO, FJ., MELO, M., LOZANO A., LLENA C, *et al.* Cytocompatibility and bioactive potential of AH Plus Bioceramic Sealer: An *in vitro* study. *Int Endod J*. 2022, v.55 e.10, p.1066-1080.

SEO, DG., LEE, D., KIM, YM., SONG, D., KIM, SY. Biocompatibility and Mineralization Activity of Three Calcium Silicate-Based Root Canal Sealers Compared to Conventional Resin-Based Sealer in Human Dental Pulp Stem Cells. *Materials (Basel)*. 2019, v. 12, p. 2482.

SUWARTINI T, SANTOSO J, WIDYARMAN AS, RATNASARI D. Efficacy of Bioceramic and Calcium Hydroxide-Based Root Canal Sealers against Pathogenic Endodontic Biofilms: An *In vitro* Study. *Contemporary clinical dentistry*, (2022), v. 13, e. 4, p. 322-330.

WANG Z, SHEN Y, HAAPASALO M. Antimicrobial and Antibiofilm Properties of Bioceramic Materials in Endodontics. *Materials (Basel)*. 2021; v.14, e. 24, p. 7594.

ZAMPARINI F, PRATI C, TADDEI P, SPINELLI A, DI FOGGIA M, GANDOLFI MG. Chemical-Physical Properties and Bioactivity of New Premixed Calcium Silicate-Bioceramic Root Canal Sealers. *Int J Mol Sci*. 2022;23(22):13914.

ZORDAN-BRONZEL CL, TANOMARU-FILHO M, TORRES FFE, CHÁVEZ-ANDRADE GM, RODRIGUES EM, GUERREIRO-TANOMARU JM. Physicochemical Properties, Cytocompatibility and Antibiofilm Activity of a New Calcium Silicate Sealer. *Braz Dent J*. 2021 Jul-Aug;32(4):8-18.

ZARE S, SHEN I, ZHU Q, AHN C, PRIMUS C, KOMABAYASHI T. Micro-computed tomographic evaluation of single-cone obturation with three sealers. *Restor Dent Endod*. 2021. v. 46, e.25.