

## Novas formulações e perspectivas futuras dos cimentos de ionômero de vidro: Uma revisão narrativa

New formulations and future perspectives of glass ionomer cements: A narrative review

Nuevas formulaciones y perspectivas futuras de los cementos de ionómero de vidrio: Una revisión narrativa

Recebido: 02/11/2024 | Revisado: 09/11/2024 | Aceitado: 10/11/2024 | Publicado: 12/11/2024

**Beatriz Almeida Cardoso Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8728-7220>  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil  
E-mail: 202220469@uesb.edu.br

**Eduarda Borges Vilasboas Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9472-4361>  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil  
E-mail: 202220843@uesb.edu.br

**Raquel Aguiar Moraes**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3624-5579>  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil  
E-mail: 202220544@uesb.edu.br

**Raylana Santos e Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0453-8745>  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil  
E-mail: 202220647@uesb.edu.br

**Ana Flávia Soares<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6367-203X>  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil  
E-mail: ana.flavia@uesb.edu.br

**Ian Matos Vieira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9057-7070>  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil  
E-mail: matos.vieira@gmail.com

### Resumo

**Objetivo:** Revisar e analisar criticamente as principais inovações nas formulações dos cimentos de ionômero de vidro, identificando as tendências e os desafios futuros para sua aplicação clínica. **Metodologia:** Foi adotada uma revisão narrativa, utilizando bases de dados como Google Scholar, SciELO, Cochrane e PubMed. Foram selecionados artigos científicos dos últimos 15 anos, em português e inglês, que abordassem inovações nos cimentos de ionômero de vidro. Os critérios de inclusão e exclusão foram rigorosamente aplicados para garantir a relevância dos estudos analisados. **Resultados e discussão:** Os resultados indicaram que o uso de nanopartículas, resinas e materiais bioativos têm contribuído significativamente para a melhoria das propriedades dos cimentos de ionômero de vidro. No entanto, a escassez de ensaios clínicos e a diversidade nas metodologias utilizadas nos estudos revisados limitam a capacidade de generalização das conclusões. A discussão enfatiza a necessidade de mais pesquisas clínicas para validar as inovações laboratoriais e explorar combinações de materiais que possam oferecer soluções ainda mais eficazes. **Conclusão:** As inovações nos cimentos de ionômero de vidro apresentam um potencial considerável para transformar a prática odontológica, promovendo tratamentos mais duráveis e acessíveis.

**Palavras-chave:** Cimento de Ionômero de Vidro; Nanopartículas; Bioativos; Resina; Viscosidade.

### Abstract

**Objective:** Review and critically analyze the main innovations in glass ionomer cement formulations, identifying trends and future challenges for their clinical application. **Methodology:** A narrative review was conducted, utilizing databases such as Google Scholar, SciELO, Cochrane, and PubMed. Scientific articles from the last 15 years, in Portuguese and English, addressing innovations in glass ionomer cements, were selected. Inclusion and exclusion criteria were rigorously applied to ensure the relevance of the studies analyzed. **Results and Discussion:** The results indicated that the use of nanoparticles, resins, and bioactive materials have significantly contributed to improving the properties of glass

---

<sup>1</sup> Professor Adjunto do Departamento de Saúde I da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil.

ionomer cements. However, the scarcity of clinical trials and the diversity in methodologies used in the reviewed studies limit the generalizability of the conclusions. The discussion emphasizes the need for more clinical research to validate laboratory innovations and explore combinations of materials that may offer even more effective solutions. Conclusion: Innovations in glass ionomer cements show considerable potential to transform dental practice, promoting more durable and accessible treatments.

**Keywords:** Glass Ionomer Cement; Nanoparticles; Bioactive Materials; Resin; Viscosity.

### Resumen

**Objetivo:** Revisar y analizar críticamente las principales innovaciones en las formulaciones de los cementos de ionómero de vidrio, identificando las tendencias y los desafíos futuros para su aplicación clínica. **Metodología:** Se adoptó una revisión narrativa, utilizando bases de datos como Google Scholar, SciELO, Cochrane y PubMed. Se seleccionaron artículos científicos de los últimos 15 años, en portugués e inglés, que abordaran innovaciones en los cementos de ionómero de vidrio. Se aplicaron rigurosamente los criterios de inclusión y exclusión para garantizar la relevancia de los estudios analizados. **Resultados y discusión:** Los resultados indicaron que el uso de nanopartículas, resinas y materiales bioactivos han contribuido significativamente a mejorar las propiedades de los cementos de ionómero de vidrio. Sin embargo, la escasez de ensayos clínicos y la diversidad en las metodologías utilizadas en los estudios revisados limitan la capacidad de generalizar las conclusiones. La discusión enfatiza la necesidad de más investigaciones clínicas para validar las innovaciones de laboratorio y explorar combinaciones de materiales que puedan ofrecer soluciones aún más efectivas. **Conclusión:** Las innovaciones en los cementos de ionómero de vidrio presentan un considerable potencial para transformar la práctica odontológica, promoviendo tratamientos más duraderos y accesibles.

**Palabras clave:** Cemento de Ionómero de Vidrio; Nanopartículas; Materiales Bioactivos; Resina; Viscosidad.

## 1. Introdução

Os cimentos de ionômero de vidro (CIV) são utilizados na odontologia desde sua introdução, nos anos 70 do século passado, tendo as suas propriedades de trabalho e mecânicas melhoradas ao longo das décadas. Suas características de união por quelação do íon cálcio ao esmalte e dentina, biocompatibilidade com o complexo dentino-pulpar, liberação de fluoretos e capacidade de prevenir infiltrações bacterianas os tornam importantes em diversas especialidades odontológica (Vieira *et al.*, 2006; Paradella *et al.*, 2013; Spezzia, 2020; Silva *et al.*, 2021). No entanto, algumas limitações, como baixa resistência ao desgaste, alta solubilidade inicial e alta opacidade, estimularam o desenvolvimento de novas formulações.

A nanotecnologia é essencialmente uma ciência e engenharia de sistemas funcionais em uma escala nanométrica (um bilionésimo de metro). Assim, quando um material é menor que 100 nm em uma dimensão, sendo definido como um nanomaterial (Elkassas & Arafa, 2017). Portanto, o objetivo da nanotecnologia na odontologia é imitar a arquitetura dos tecidos naturais, tanto os moles quanto os duros, adaptando novos biomateriais dentários para alcançar uma melhor restauração dos tecidos perdidos devido a doenças e fornecer atividade antimicrobiana quando necessário (Pokrowiecki *et al.*, 2018). Tecnologias emergentes e novas informações em escala nanométrica transformaram a visão tradicional da prática odontológica, avançando todos os seus aspectos para uma nova ordem, a fim de substituir os tecidos no ambiente bucal que foram perdidos devido a processos patológicos, restaurando assim sua função física (Pokrowiecki *et al.*, 2018). Ademais, as aplicações da nanotecnologia na odontologia são vastas. Elas incluem diagnósticos odontológicos, odontologia preventiva, mas também materiais odontológicos, prótese dentária, endodontia, odontologia conservadora e estética, periodontia, implantodontia, odontologia regenerativa (AlKahtani, 2018).

A principal característica das nanopartículas (NPs) é que elas têm uma ação antimicrobiana muito potente contra biofilmes bacterianos. Como as NPs possuem uma grande área de superfície e alta densidade de carga, os íons das nanopartículas em contato com os microrganismos produzem um efeito germicida (Naguib *et al.*, 2023). Elas também podem preencher as lacunas entre as cadeias interpoliméricas, resultando em aumento da resistência mecânica e física (Amin *et al.*, 2021).

A incorporação de íons bioativos no Cimento de Ionômero de Vidro (CIV) marca uma evolução importante no campo da odontologia restauradora. De acordo com Nicholson *et al.*, (2024), a reatividade refere-se à capacidade de certas substâncias de interagir positivamente com tecidos vivos, promovendo reações ou respostas desejadas, como a formação de uma ligação forte entre um implante e o tecido do corpo. O cimento de ionômero de vidro (CIV) modificado com íons bioativos surge como

uma inovação nesse contexto, ao aliar a capacidade de liberação de flúor à incorporação de íons como cálcio e fosfato, essenciais para a remineralização dos tecidos dentais. Esses novos materiais oferecem potencial não só para melhorar a resistência mecânica e a adesão ao tecido dentário, mas também para combater a cárie secundária e promover a regeneração dental, destacando-se como uma promissora alternativa na prática clínica restauradora (Guimarães *et al.*, 2024; Pokharkar *et al.*, 2022).

Os cimentos de ionômero de vidro modificados por resina (CIVMR) são materiais híbridos que combinam a adesão dos cimentos de ionômero tradicionais com a maior resistência e estética das resinas. Essas modificações aumentam a durabilidade do material, tornando-o menos solúvel e mais resistente à fratura, o que é crucial em áreas de maior estresse mecânico, como restaurações posteriores. Além de serem usados em restaurações diretas, os CIVMRs são amplamente aplicados em odontopediatria, para procedimentos conservadores, e em ortodontia, na fixação de braquetes e restaurações preventivas. Sua liberação contínua de fluoretos mantém a prevenção de cáries ao longo do tempo, ao mesmo tempo que a proteção superficial aplicada após a restauração é fundamental para garantir que o material mantenha suas propriedades ao longo do tempo, prevenindo alterações dimensionais e trincas.

A eliminação gradual do amálgama dentário, como parte da Convenção de Minamata, levou à necessidade de materiais restauradores diretos alternativos (Fisher *et al.*, 2018). Compósitos de resina e cimentos de ionômero de vidro (CIVs) foram sugeridos como opções diretas (Dhar *et al.*, 2023). Vários estudos relataram sucesso satisfatório com CIVs de alta viscosidade para restaurações posteriores (Gurgan *et al.*, 2020). Os CIVs também foram relatados como um material restaurador com boa relação custo-benefício (Schwendicke *et al.*, 2021). As propriedades positivas dos CIVs incluem liberação de flúor, efeito autocondicionante e prevenção de cáries secundárias, pela liberação de múltiplos íons, como flúor, estrôncio e fosfato (Ge *et al.*, 2023).

Os cimentos de ionômero de vidro de alta viscosidade (HVGICs) foram desenvolvidos para melhorar as fracas propriedades mecânicas dos cimentos de ionômero de vidro convencionais (GICs) e aumentar a resistência às forças oclusais, expandindo as áreas de indicação limitadas às restaurações de Classe I e V (Kamk *et al.*, 2016). O HVGICs tem como diferencial a liberação de fluoreto, o que o torna essencial para o processo de remineralização do tecido dentário e a interrupção do processo da doença cárie. Já em comparação com os outros tipos de cimentos ionôméricos, os HVGICs apresentam uma dureza superficial maior, o que confere resistência ao material e um menor tempo de presa, devido a utilização de ácido liofilizado agregado à sua composição. (Frencken *et al.*, 2017).

Revisar e analisar as principais inovações nas formulações dos cimentos de ionômero de vidro, identificando as tendências e as perspectivas futuras para sua aplicação clínica. Além disso, o artigo busca identificar as perspectivas futuras dessas formulações para aprimorar sua aplicação clínica na odontologia, destacando como essas inovações podem melhorar as propriedades mecânicas, bioativas e antimicrobianas, trazendo benefícios significativos para os tratamentos odontológicos.

## 2. Metodologia

O presente estudo apresenta uma metodologia de natureza qualitativa e do tipo revisão narrativa (Rother, 2007). A estrutura metodológica deste trabalho fundamenta-se em uma revisão narrativa, cujo objetivo é reunir e sintetizar o conhecimento existente sobre as novas formulações e as perspectivas futuras dos cimentos de ionômero de vidro. Esta abordagem, de natureza qualitativa, é adequada para pesquisas que utilizam fontes de informações bibliográficas para obtenção de resultados de pesquisas de outros autores. A revisão narrativa permite uma análise crítica e interpretativa dos estudos selecionados, oferecendo uma visão ampla sobre o tema e identificando lacunas e tendências no desenvolvimento dos cimentos de ionômeros de vidro.

Com finalidade de responder a questão norteadora “Quais são as principais inovações nas formulações dos cimentos de ionômero de vidro e quais perspectivas futuras podem ser previstas para a sua aplicação clínica na odontologia?”, foi utilizado as bases de dados Scientific Electronic Library Online (SciELO), na Cochrane e na USA National Library of Medicine

(PubMed) e Google Scholar. Para levantamento dos artigos mais relevantes, utilizou-se as terminologias cadastradas nos Descritores em Ciências da Saúde (DeCs). Os descritores utilizados foram: Cimento de Ionômero de Vidro; Nanopartículas; Bioativos; Resina; Viscosidade. Para o cruzamento das palavras chaves utilizou-se os operadores booleanos “and”, “or” “not”, “e”, “ou” e “não”.

Os critérios de inclusão foram: artigos científicos dos últimos 15 anos, nos idiomas português e inglês, com textos completos disponíveis nas bases de dados e os quais o tema tinha relação com o objetivo da revisão. Já os critérios de exclusão foram: artigos que não tinham relação com o tema ou objetivo da revisão, as duplicatas (aqueles publicados em duas ou mais bases ou banco de dados) e artigos incompletos, resumos, resenhas, notas prévias, editoriais ou semelhantes.

### 3. Resultados e Discussão

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão apresentados, assim como a avaliação do título, resumo e texto integral, um total de 28 artigos (6 de nanopartículas, 5 de bioativos, 13 de alta viscosidade e 4 modificados por resina) foram escolhidos para fazer parte da revisão.

Os 6 artigos que contemplam a modificação de cimentos de ionômero de vidro (GICs) com nanopartículas de óxidos metálicos e metaloides (como  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ) observam que esta associação tem sido amplamente estudada devido às suas potenciais melhorias nas propriedades mecânicas e biológicas do material. O  $\text{TiO}_2$  é conhecido por suas propriedades antimicrobianas, que ajudam a reduzir a colonização bacteriana em restaurações dentárias. Além disso, a adição dele pode aumentar a resistência à compressão do CIV, tornando-o mais durável em ambientes orais (Xia et al., 2008). O  $\text{ZnO}$  também apresenta um efeito antibacteriano significativo, contribuindo para a prevenção de infecções em restaurações dentárias. Sua incorporação tem demonstrado melhorar a resistência mecânica e a estabilidade do CIV, o que é crucial para a longevidade das restaurações (Swetha et al., 2019).

O  $\text{MgO}$  é considerado biocompatível e pode promover a remineralização do tecido dental, além de melhorar as propriedades mecânicas do CIV, resultando em um aumento na resistência à compressão e na flexibilidade do material (Xia et al., 2008). Por sua vez, o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pode aumentar a dureza e a resistência ao desgaste do CIV, tornando-o mais adequado para áreas que sofrem alta carga oclusal. A adição de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  também pode melhorar a estabilidade química do material, aumentando sua durabilidade (Gjorgievska et al., 2015).

Segundo Sadat-Shojai et al., (2010), o  $\text{ZrO}_2$  é conhecido por sua alta resistência e durabilidade, e sua incorporação ao CIV pode resultar em um material mais robusto, além de melhorar as propriedades estéticas, tornando-o mais adequado para restaurações que exigem um bom aspecto visual. Por fim, o  $\text{SiO}_2$  pode melhorar a adesão do CIV ao dente, resultando em restaurações mais eficazes, e sua adição também tem mostrado aumentar a resistência à compressão e a resistência ao desgaste do material.

Em suma, a incorporação dessas nanopartículas no cimento de ionômero de vidro tem mostrado resultados promissores em termos de melhoria das propriedades mecânicas, biocompatibilidade e atividade antimicrobiana. No entanto, é fundamental realizar mais estudos clínicos para validar esses resultados e entender melhor como essas modificações podem ser aplicadas na prática odontológica. A combinação de diferentes nanopartículas também pode ser explorada para otimizar ainda mais as propriedades do CIV.

Dessa forma, sobre as perspectivas futuras das nanopartículas, pode-se destacar que a nanotecnologia pode oferecer ferramentas para melhorar essas propriedades mecânicas, aprimorar as propriedades antimicrobianas e otimizar sua biocompatibilidade e propriedades biomineralizantes. Embora existam vários exemplos de estudos laboratoriais que demonstram uma influência positiva da adição de nanomateriais aos CIVs, o número de ensaios clínicos é limitado. A nanohidroxiapatita também foi avaliada em um ensaio controlado como agente de capeamento direto, usado antes da aplicação do CIV,

demonstrando a formação de pontes dentinárias completas e aumento da vascularização (Swarup *et al.*, 2014).

A crescente preocupação com a saúde dental tem impulsionado a pesquisa sobre materiais bioativos aplicados a cimentos de ionômero de vidro (CIV) e suas variações. Uma análise de cinco estudos recentes revela tendências significativas na bioatividade e remineralização desses materiais, reforçando a importância de inovações nesta área.

Todos os cinco artigos revisados indicam que a incorporação de partículas bioativas em cimentos odontológicos, como o CIV e suas variantes, promove melhorias significativas nas propriedades mecânicas e bioativas. Por exemplo, um estudo destacou que a adição de wollastonita e agregado trióxido mineral (MTA) aumentou a bioatividade de dois tipos de GIC convencional, promovendo a formação de cristais de apatita nas superfícies dos cimentos modificados (Chen *et al.*, 2016). Essa formação de apatita é crucial, pois sugere um potencial para remineralização dentária.

Além disso, três dos artigos mencionam a liberação de íons como um mecanismo-chave para a inibição da desmineralização e promoção da remineralização. O uso de bioativos, como o fosfato de nióbio e o biovidro 45S5, demonstrou aumentar não apenas a liberação de íons cálcio e flúor, mas também a capacidade antimicrobiana dos materiais, resultando em menor acidogenicidade do biofilme de *Streptococcus mutans* (Diniz *et al.*, 2023); (Ana & Anggraeni, 2021). Essa capacidade antimicrobiana é fundamental para a preservação da saúde dental.

Outro ponto em comum nos estudos é a melhoria da microdureza da dentina desmineralizada com a adição de materiais bioativos, indicando um efeito positivo na remineralização. Esse achado foi observado em dois artigos, que confirmaram que a incorporação de partículas bioativas contribui para o aumento da resistência da estrutura dental frente ao desafio de lesões de cárie (Guimarães *et al.*, 2024) (Ana & Anggraeni, 2021).

Portanto, os resultados desses cinco estudos enfatizam a relevância da pesquisa contínua na área de materiais odontológicos bioativos. A inclusão de bioativos em cimentos de ionômero de vidro não apenas melhora suas propriedades físicas e mecânicas, mas também oferece uma abordagem promissora para a prevenção e tratamento de lesões cáries, sustentando a saúde dental a longo prazo.

De acordo com Mıṙ *et al.* (2024), os vidros bioativos estão demonstrando grande potencial como componentes de biomateriais para aplicações odontológicas e ortopédicas, incluindo seu uso em cimentos dentários, como cimentos ionoméricos de vidro (CIV). As perspectivas futuras para o uso de materiais bioativos em formulações injetáveis, como os CIVs, envolvem melhorar sua capacidade de se ligar aos tecidos naturais e aprimorar suas propriedades bioativas e mecânicas. O vidro bioativo oferece vantagens, como estimular a regeneração tecidual e minimizar procedimentos invasivos. Quando incorporado em materiais como cimentos e hidrogéis, criam formulações injetáveis com propriedades de liberação controlada, que promovem a proliferação celular e a reparação tecidual.

Uma revisão sistemática descobriu que os cimentos de ionômero de vidro convencionais (GICs) tiveram melhores taxas de sobrevivência do que os compósitos quando usados para restaurar lesões de cárie cervical em dentes permanentes e primários; no entanto, eles não foram indicados para áreas de suporte de carga em ambas as dentições (Schwendicke *et al.*, 2016). Esses resultados relativamente menos favoráveis foram associados às propriedades físicas e mecânicas dos GICs convencionais, o que poderia reduzir seu uso clínico como restauradores de longo prazo em comparação com resinas compostas para áreas de suporte de carga (Van Dijken *et al.*, 2010). No entanto, as propriedades mecânicas dos GICs melhoraram posteriormente e a categoria relativamente nova de GICs de alta viscosidade (HVGICs) está atualmente mostrando melhores taxas de sucesso e/ou sobrevivência, especialmente para restaurações de tratamento restaurador atraumático (ART) de superfície única (Leal *et al.*, 2018); (Hilgert *et al.*, 2014); (Amorim *et al.*, 2018).

Além disso, existem várias maneiras de melhorar a taxa de sucesso da ART. O cimento de ionômero de vidro de alta viscosidade (HVGICs) é um material que tem sido usado na ART. (Bonifácio *et al.*, 2009). Isso se deve, em parte, à menor porosidade, que é um fator crucial na diferença entre os GICs convencionais e os HVGICs. A menor porosidade dos HVGICs

tem contribuído significativamente para suas propriedades mecânicas aprimoradas, resultando em uma melhor resistência e longevidade clínica.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o pH de diferentes materiais de proteção superficial (MPS) e analisar a sorção, solubilidade, dureza e a caracterização de superfície do cimento de ionômero de vidro de alta viscosidade. Dessa maneira, as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos GICs podem ser influenciadas por vários fatores; em particular, destaca-se a presença de vazios após os procedimentos de mistura e fixação pode reduzir a resistência mecânica do material (Nomoto *et al.*, 2001). Embora se proponha os HVGICs foram propostos como materiais com uma proporção pó-líquido melhorada e tamanho de partícula reduzido, mas não se sabe se essa mudança na composição afeta a porosidade do material.

Outrossim, até onde sabemos, nenhum estudo comparou ainda a porosidade de HVGICs convencionais e usados na prática clínica odontológica. Isso levanta a questão de se as melhorias na proporção pó-líquido e a redução no tamanho das partículas resultaram em cimentos menos porosos. As hipóteses nulas eram que todos os GICs testados teriam grau de porosidade semelhante e não haveria diferença na distribuição do tamanho dos poros entre os materiais testados. No entanto, os resultados indicam que a menor porosidade dos HVGICs, devido às melhorias na formulação, é um diferencial que pode impactar diretamente o desempenho clínico, especialmente em áreas de maior exigência mecânica.

Os cimentos de ionômero de vidro modificados por resina (CIVMR) surgiram como uma solução para superar as limitações dos cimentos convencionais, oferecendo maior resistência mecânica e estética aprimorada. O principal benefício dessa modificação é a introdução de resinas na composição, o que resulta em menor solubilidade e melhor adaptação em ambientes úmidos, fatores cruciais para a longevidade das restaurações. Estudos apontam que a proteção superficial desses materiais, por meio de vernizes ou adesivos, é essencial para evitar desintegração e melhorar sua performance clínica (Ribeiro *et al.*, 2013).

Além disso, a incorporação de resinas melhora a capacidade de vedação marginal, fator crítico em áreas de alta carga mastigatória. O uso desses cimentos é indicado para restaurações em regiões onde o desgaste é maior, devido à sua resistência superior à fratura e à desintegração (Fook *et al.*, 2008). A estética aprimorada também faz com que os CIVMRs sejam preferidos em áreas estéticas, onde a cor e a translucidez são importantes.

Ainda, os CIVMRs mantêm a característica de liberação de flúor dos cimentos tradicionais, mas com a vantagem de apresentar melhor adesão ao esmalte e à dentina, o que contribui para sua biocompatibilidade. A proteção adicional da superfície do material é fundamental para prevenir alterações dimensionais e trincas, garantindo assim maior durabilidade das restaurações em longo prazo (Ribeiro *et al.*, 2013).

Essas propriedades tornam os CIVMRs uma opção robusta e versátil, amplamente utilizada em diferentes áreas da odontologia, especialmente em situações que exigem resistência ao desgaste e estética aprimorada, como em restaurações estéticas e fixação de próteses (Fook *et al.*, 2008).

O estudo apresentou algumas limitações importantes. A principal delas foi a escassez de ensaios clínicos disponíveis, já que a maioria dos dados provém de estudos laboratoriais. Essa falta de dados clínicos cria uma lacuna significativa entre as observações feitas em laboratório e a aplicação prática dos novos materiais na odontologia. Além disso, a diversidade nas metodologias e nas composições testadas nos estudos revisados dificulta uma comparação direta entre as diferentes formulações, limitando conclusões mais abrangentes. Outra limitação é o foco em um conjunto específico de modificações nos CIVs, sem explorar o potencial de combinações mais amplas de materiais que poderiam oferecer soluções ainda mais inovadoras.

#### 4. Conclusão

Este estudo revisou e analisou criticamente as principais inovações nas formulações dos cimentos de ionômero de vidro (CIV), incluindo o CIV Modificado por Resina (CIVMR), CIV de Alta Viscosidade, CIV com Nanopartículas, CIV Bioativos e CIV Modificado com Íons Bioativos (CIVMB). Os resultados indicaram que essas inovações trazem avanços promissores,

especialmente na melhoria das propriedades mecânicas, bioativas e antimicrobianas dos materiais, com potencial para otimizar tratamentos odontológicos e prolongar a durabilidade das restaurações.

Com base na análise realizada, o estudo respondeu ao seu objetivo ao revisar e avaliar criticamente as principais inovações nas formulações dos cimentos de ionômero de vidro. O uso de nanopartículas, resinas e materiais bioativos mostrou-se eficaz na melhoria das propriedades desses materiais, especialmente em termos de resistência mecânica, biocompatibilidade e atividade antimicrobiana. Essas inovações oferecem um potencial considerável para aprimorar o desempenho clínico dos CIVs em diversas aplicações odontológicas. As perspectivas futuras sugerem que a nanotecnologia e o uso de materiais bioativos continuarão a transformar a prática odontológica, permitindo restaurações mais duráveis, estéticas e funcionais, trazendo benefícios tanto para os profissionais da área quanto para a saúde bucal dos pacientes.

## Referências

- AlKahtani R. N. (2018). The implications and applications of nanotechnology in dentistry: A review. *The Saudi dental journal*, 30(2), 107–116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2018.01.002>
- Amin, F., Rahman, S., Khurshid, Z., Zafar, M. S., Sefat, F., & Kumar, N. (2021). Effect of Nanostructures on the Properties of Glass Ionomer Dental Restoratives/Cements: A Comprehensive Narrative Review. *Materials (Basel, Switzerland)*, 14(21), 6260. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14216260>
- Amorim, R. G., Frencken, J. E., Raggio, D. P., Chen, X., Hu, X., & Leal, S. C. (2018). Survival percentages of atraumatic restorative treatment (ART) restorations and sealants in posterior teeth: an updated systematic review and meta-analysis. *Clinical oral investigations*, 22(8), 2703–2725. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2625-5>
- Ana, I. D., & Anggraeni, R. (2021). Development of bioactive resin modified glass ionomer cement for dental biomedical applications. *Heliyon*, 7(1), e05944. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05944>
- Bonifácio, C. C., Kleverlaan, C. J., Raggio, D. P., Werner, A., de Carvalho, R. C., & van Amerongen, W. E. (2009). Physical-mechanical properties of glass ionomer cements indicated for atraumatic restorative treatment. *Australian dental journal*, 54(3), 233–237. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2009.01125.x>
- Chen, S., Cai, Y., Engqvist, H., & Xia, W. (2016). Enhanced bioactivity of glass ionomer cement by incorporating calcium silicates. *Biomater.* 6(1), e1123842. DOI: <https://doi.org/10.1080/21592535.2015.1123842>
- Dhar, V., Pilcher, L., Fontana, M., González-Cabezas, C., Keels, M. A., Mascarenhas, A. K., Nascimento, M., Platt, J. A., Sabino, G. J., Slayton, R., Tinanoff, N., Young, D. A., Zero, D. T., Pahlke, S., Urquhart, O., O'Brien, K. K., & Carrasco-Labra, A. (2023). Evidence-based clinical practice guideline on restorative treatments for caries lesions: A report from the American Dental Association. *Journal of the American Dental Association (1939)*, 154(7), 551–566.e51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2023.04.011>
- Diniz, A. C., Bauer, J., Veloso, S. D. A. R., Abreu-Pereira, C. A., Carvalho, C. N., Leitão, T. J., Firoozmand, L. M., & Maia-Filho, E. M. (2023). Effect of Bioactive Filler Addition on the Mechanical and Biological Properties of Resin-Modified Glass Ionomer. *Materials (Basel, Switzerland)*, 16(5), 1765. DOI: <https://doi.org/10.1080/21592535.2015.1123842>
- Elkassas, D., & Arafa, A. (2017). The innovative applications of therapeutic nanostructures in dentistry. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*. 13(4), 1543–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nano.2017.01.018>
- Fisher, J., Varenne, B., Narvaez, D., & Vickers, C. (2018). The Minamata Convention and the phase down of dental amalgam. *Bulletin of the World Health Organization*, 96(6), 436–438. DOI: <https://doi.org/10.2471/BLT.17.203141>
- Fook, A. C. B. M., et al. (2008). Materiais odontológicos: Cimentos de ionômero de vidro. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*. 3(1), 40-45. URL: <https://remap.revistas.ufcg.edu.br/index.php/remap/article/viewFile/52/86>
- Frencken J. E. (2017). Atraumatic restorative treatment and minimal intervention dentistry. *British dental journal*, 223(3), 183–189. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2017.664>
- Ge, K. X., Quock, R., Chu, C. H., & Yu, O. Y. (2023). The preventive effect of glass ionomer cement restorations on secondary caries formation: A systematic review and meta-analysis. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 39(12), e1–e17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.10.008>
- Gjorgievska, E., Van Tendeloo, G., Nicholson, J. W., Coleman, N. J., Slipper, I. J., & Booth, S. (2015). The incorporation of nanoparticles into conventional glass-ionomer dental restorative cements. *Microscopy and Microanalysis*. 21(2), 392–406. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1431927615000057>
- Guimarães, S. F., Amaral, G. M., Miranda, L. V. L. M., Júnior, G. C. C., da Silva Tavares, Y., Teixeira, B. M. R., & Coelho, T. M. B. (2024). Características de compômeros contendo partículas bioativas: Uma revisão integrativa. *Revista CPAQV - Centro de Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida*. 16(1). DOI: <https://doi.org/10.36692/V16N1-21R>
- Gurgan, S., Kutuk, Z. B., Yalcin Cakir, F., & Ergin, E. (2020). A randomized controlled 10 years follow up of a glass ionomer restorative material in class I and class II cavities. *Journal of dentistry*, 94, 103175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.07.013>

- Hilgert, L. A., de Amorim, R. G., Leal, S. C., Mulder, J., Creugers, N. H., & Frencken, J. E. (2014). Is high-viscosity glass-ionomer-cement a successor to amalgam for treating primary molars?. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 30(10), 1172–1178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.07.010>
- Kanık, Ö., & Türkün, L. Ş. (2016). Recent approaches in restorative glass ionomer cements. *J. Ege Univ. Sch. Dent*, 37, 54-65. URL: [https://jag.journalagent.com/eudfd/pdfs/EUDFD\\_37\\_2\\_54\\_65.pdf](https://jag.journalagent.com/eudfd/pdfs/EUDFD_37_2_54_65.pdf)
- Leal, S., Bonifacio, C., Raggio, D., & Frencken, J. (2018). Atraumatic Restorative Treatment: Restorative Component. *Monographs in oral science*, 27, 92–102. DOI: <https://doi.org/10.1159/000487836>
- Mîrț, A. L., Ficai, D., Oprea, O. C., Vasilevici, G., & Ficai, A. (2024). Current and future perspectives of bioactive glasses as injectable material. *Nanomaterials (Basel)*, 14(14), 1196. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano14141196>
- Naguib, G. N., Alshahrani, A. A., Alshahrani, A. A., & Alshahrani, A. A. (2023). Incorporation of nanoparticles in dental materials: A review of mechanical properties and clinical implications. *BMC Oral Health*, 23, 897. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03652-1>
- Nicholson, J. W., Sidhu, S. K., & Czarnecka, B. (2024). Can glass polyalkenoate (glass-ionomer) dental cements be considered bioactive? A review. *Heliyon*, 10(3), e25239. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25239>
- Nomoto, R., & McCabe, J. F. (2001). Effect of mixing methods on the compressive strength of glass ionomer cements. *Journal of dentistry*, 29(3), 205–210. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0300-5712\(01\)00010-0](https://doi.org/10.1016/s0300-5712(01)00010-0)
- Paradella, T. C., Costa, A. L., & Pereira, M. A. (2013). Cimentos de ionômero de vidro na odontologia moderna. *Revista de Odontologia da UNESP*. 33(4), 157-61. URL: <https://revodontolunesp.com.br/article/588017aa7f8c9d0a098b483e#nav7>
- Pokharkar, P. M., Shashikiran, N. D., Gaonkar, N., Gugawad, S., Hadakar, S., & Waghmode, S. (2022). Comparative evaluation of bioactivity, fluoride release, shear bond strength, and compressive strength of conventional glass ionomer cement incorporated with three inorganic bioactive nanoparticles: An experimental analysis. *Journal of the Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*, 40(4), 445–452. DOI: [https://doi.org/10.4103/jisppd.jisppd\\_454\\_22](https://doi.org/10.4103/jisppd.jisppd_454_22)
- Pokrowiecki, R., Palka, K., & Mielczarek, A. (2018). Nanomaterials in Dentistry: a Cornerstone Or a Black box? *Nanomedicine*, 13(6), 639–667. DOI: <https://doi.org/10.2217/nnm-2017-0329>
- Ribeiro J. C. R., et al. (2013). Avaliação da solubilidade e desintegração de cimentos de ionômero de vidro modificados por resina e compômeros em função de proteção superficial. *Revista de Odontologia da UNESP*. 35(4), 247-252. URL: <https://revodontolunesp.com.br/article/588017df7f8c9d0a098b4953/pdf/rou-35-4-247.pdf>
- Rother, E. T. (2007). Revisão sistemática x revisão narrativa. *Acta Paul. Enferm.* 20(2), DOI.org/10.1590/S0103-21002007000200001.
- Sadat-Shojai, M., Atai, M., Nodehi, A., & Khanlar, L. N. (2010). Hydroxyapatite nanorods as novel fillers for improving the properties of dental adhesives: Synthesis and application. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 26(5), 471–482. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.01.005>
- Schwendicke, F., Basso, M., Markovic, D., Turkun, L. S., & Miletic, I. (2021). Long-term cost-effectiveness of glass hybrid versus composite in permanent molars. *Journal of dentistry*, 112, 103751. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103751>
- Schwendicke, F., Göstemeyer, G., Blunck, U., Paris, S., Hsu, L. Y., & Tu, Y. K. (2016). Directly Placed Restorative Materials: Review and Network Meta-analysis. *Journal of dental research*, 95(6), 613–622. DOI: <https://doi.org/10.1177/0022034516631285>
- Silva, D. O. C. et al. (2021). Cimento de ionômero de vidro e sua aplicabilidade na Odontologia: Uma revisão narrativa com ênfase em suas propriedades. *Research, Society and Development*. 10(5), e20110514884. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14884>.
- Silva, LH, Feitosa, SA, Valera, MC, de Araujo, MA, & Tango, RN (2012). Efeito da adição de sílica silanizada nas propriedades mecânicas de resina acrílica termopolimerizável por micro-ondas. *Gerodontologia*, 29 (2), e1019-e1023. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1741-2358.2011.00604.x>
- Spezzia, S. (2017). Cimento de ionômero de vidro: revisão de literatura. *Journal of Oral Investigations*, 6(2), 74-88. DOI: <https://doi.org/10.18256/2238-510X.2017.v6i2.2134>
- Swarup, S. J., Rao, A., Boaz, K., Srikant, N., & Shenoy, R. (2014). Pulpal response to nano hydroxyapatite, mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide when used as a direct pulp capping agent: an in vivo study. *The Journal of clinical pediatric dentistry*, 38(3), 201–206. DOI: <https://doi.org/10.17796/jcpd.38.3.83121661121g6773>
- Swetha, V. C., Uloopi, D. L., RojaRamya, K. S., & Chandrasekhar, K. S. (2019). Antibacterial and mechanical properties of pit and fissure sealants containing zinc oxide and calcium fluoride nanoparticles. *Contemporary Clinical Dentistry*, 10(3), 477. DOI: [http://dx.doi.org/10.4103/ccd.ccd\\_805\\_18](http://dx.doi.org/10.4103/ccd.ccd_805_18)
- van Dijken, J. W., & Pallesen, U. (2010). Fracture frequency and longevity of fractured resin composite, polyacid-modified resin composite, and resin-modified glass ionomer cement class IV restorations: an up to 14 years of follow-up. *Clinical oral investigations*, 14(2), 217–222. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-009-0287-z>
- Vieira, I. M., Louro, R. L., Atta, M. T., Navarro, M. F. de L., & Francisconi, P. A. S. (2006). O cimento de ionômero de vidro na odontologia. *Revista Saúde*, 2(1), 75-84. Recuperado de <http://www.uesb.br/revista/rsc/v2/v2n1a9.pdf>
- Xia, Y., Zhang, F., Xie, H., & Gu, N. (2008). Nanoparticle-reinforced resin-based dental composites. *Journal of dentistry*, 36(6), 450–455. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2008.03.001>