



ODONTOLOGIA

LARA ARAGOZO VIEIRA

**MATERIAIS RESTAURADORES BIOATIVOS NO TRATAMENTO
RESTAURADOR ATRAUMÁTICO: REVISÃO INTEGRATIVA DE DESEMPENHO
CLÍNICO E PREVENÇÃO SECUNDÁRIA DE CÁRIE**

Muriaé

2026

LARA ARAGOZO VIEIRA

**MATERIAIS RESTAURADORES BIOATIVOS NO TRATAMENTO
RESTAURADOR ATRAUMÁTICO: REVISÃO INTEGRATIVA DE DESEMPENHO
CLÍNICO E PREVENÇÃO SECUNDÁRIA DE CÁRIE**

Trabalho de conclusão de curso para a
conclusão do curso de Odontologia da
Faculdade Faminas de Muriaé-MG.

Prof. Ms.: Lorena Ap. Nery de Araújo.

**Muriaé
2026**

VIEIRA, Lara Aragozo

MATERIAIS RESTAURADORES BIOATIVOS NO
TRATAMENTO RESTAURADOR ATRAUMÁTICO: REVISÃO
INTEGRATIVA DE DESEMPENHO CLÍNICO E PREVENÇÃO
SECUNDÁRIA DE CÁRIE / Lara Aragozo Vieira; Lorena Aparecida
Nery de Araújo (orient.). - Muriaé, MG, 2026.
33p.

Orientador: Prof. Dra. Lorena Aparecida Nery de Araújo.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Odontologia) –
Centro Universitário FAMINAS, 2026.

1. atraumatic restorative treatment. 2. ART. 3. bioactive. 4.
ion-releasing. 5. glass ionomer. I. APARECIDA NERY DE ARAÚJO,
Lorena, Prof. Dra., orient. II. Título.

Catálogo da Publicação

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do Centro Universitário FAMINAS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a). Bibliotecária Cristina de Souza Maia CRB6- 2294

AGRADECIMENTOS

Os quatro anos e meio de graduação em Odontologia me fizeram crescer em conhecimento, mas o principal foi como pessoa, e agora tenho certeza de que entrei nessa profissão por um chamado e nada acontece por acaso e sim por um propósito.

Sou eternamente grata a Deus por ter me abençoado até aqui. Entreguei cada passo dessa caminhada em Suas mãos e pude ver, claramente o Seu agir e a Sua provisão. Durante esta jornada, orei, chorei, abdiquei de momentos, cresci, amadureci, criei laços para a vida e sobretudo me encontrei.

Minha eterna gratidão aos meus pais, que nunca me deixaram desistir e me apoiaram desde o início. Meu pai, Antônio José, que perdurou estradas dia após dia, quilômetros e mais quilômetros por trás do volante de um caminhão, em meio ao sol e muita poeira, para que nunca me faltasse o necessário para chegar até aqui. Obrigada por ser meu exemplo de humildade e integridade, e por me ensinar valores que foram essenciais que me auxiliaram na missão de me tornar uma profissional humanizada. À minha mãe, Carla, minha grande inspiração. Agradeço por cada renúncia durante essa caminhada, por sempre estar ao meu lado me dando força, por ser minha maior incentivadora e por acreditar em mim, quando eu mesma duvidei. Obrigada por cada palavra de incentivo nos dias de provas, trabalhos e atendimentos. O seu coração e o seu caráter nobre me moldam diariamente.

À minha avó Marli, pelo apoio constante e pelas orações que me sustentaram. Aos meus avós, Maria; Adão e José Valentim (*in memoriam*) que, embora não estejam mais aqui, sei que olham por mim do céu. Aos meus tios, pelo apoio indispensável durante toda essa trajetória, em especial, Marta Vieira e Carlos Ávila, por terem aberto as portas de sua casa e me acolhido com tanto carinho. O suporte e o lar que me ofereceram foram fundamentais para que eu pudesse me dedicar aos estudos e alcançar este objetivo. A minha tia Meire Aragozo, e meu amigo David Toyos, agradeço por todo suporte e apoio mesmo distantes.

Aos meus amigos, que tornaram os dias difíceis mais leves, Maria Clara Christovão, Maria Luísa Delgado, obrigada pelo acolhimento, pela força e por todos os momentos, em especial à minha dupla, Ana Paula, agradeço a vocês por não me deixarem desistir e por terem continuado ao meu lado até o final.

Gratidão aos meus mestres e preceptores, por todos os ensinamentos, pela paciência e por ofertar uma visão mais ampla e profunda do que realmente é a Odontologia. Eu escolheria vocês mil vezes para serem os professores e preceptores da minha graduação.

À minha orientadora, Lorena Aparecida Nery de Araújo, a minha profunda gratidão, por todo apoio, paciência e dedicação, elas foram fundamentais para construção desse trabalho. Sua sabedoria e leveza em tudo que faz, foram, fundamentais para que eu chegasse até aqui. Você está marcada em minha trajetória profissional e em meu coração. E por fim, agradeço a Odontologia que trouxe propósito a minha vida.

RESUMO

A cárie dentária permanece como um importante problema de saúde pública, especialmente em populações com maior vulnerabilidade social e menor acesso ao tratamento odontológico convencional. Nesse contexto, o Tratamento Restaurador Atraumático (ART) destaca-se como uma abordagem minimamente invasiva, baseada na remoção seletiva do tecido cariado e na restauração com materiais capazes de promover selamento cavitário e preservação da estrutura dentária. Este estudo teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão integrativa da literatura, o desempenho clínico de materiais restauradores bioativos utilizados no ART, com ênfase na prevenção secundária de cárie e nos principais desfechos de sucesso restaurador. A busca bibliográfica foi realizada nas bases PubMed/MEDLINE, SciELO e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS/LILACS), incluindo estudos publicados entre 2000 e 2026, nos idiomas português, inglês e espanhol. A literatura analisada demonstrou que a bioatividade, caracterizada principalmente pela liberação e recarga de íons, como fluoreto, cálcio e fosfato, contribui para a remineralização da dentina afetada, o controle do desafio cariogênico e a proteção da interface dente-restauração. Entre os materiais avaliados, o cimento de ionômero de vidro de alta viscosidade permanece como a opção mais consolidada para o ART, devido à sua adesão química, liberação de fluoreto, simplicidade técnica e viabilidade em contextos clínicos e de saúde pública. Embora materiais resinosos bioativos, ion-releasing e alcasites apresentem perspectivas promissoras, ainda existem limitações relacionadas à complexidade técnica, dependência de equipamentos, custo e escassez de evidências clínicas de longo prazo. Conclui-se que os materiais bioativos, especialmente o cimento de ionômero de vidro de alta viscosidade, desempenham papel relevante no ART e na prevenção secundária de cárie, sendo necessários estudos clínicos robustos e padronizados para confirmar a efetividade das novas tecnologias restauradoras.

Palavras-chave: Tratamento Restaurador Atraumático. Materiais bioativos. Cimento de ionômero de vidro. Cárie secundária. Saúde pública.

ABSTRACT

Dental caries remains an important public health problem, especially among socially vulnerable populations with limited access to conventional dental treatment. In this context, Atraumatic Restorative Treatment (ART) stands out as a minimally invasive approach based on selective removal of carious tissue and restoration with materials capable of promoting cavity sealing and preservation of tooth structure. This study aimed to analyze, through an integrative literature review, the clinical performance of bioactive restorative materials used in ART, with emphasis on secondary caries prevention and the main outcomes related to restorative success. The bibliographic search was conducted in PubMed/MEDLINE, SciELO, and the Virtual Health Library (BVS/LILACS), including studies published between 2000 and 2026 in Portuguese, English, and Spanish. The analyzed literature showed that bioactivity, mainly characterized by the release and recharge of ions such as fluoride, calcium, and phosphate, contributes to the remineralization of affected dentin, control of cariogenic challenge, and protection of the tooth-restoration interface. Among the materials evaluated, high-viscosity glass ionomer cement remains the most consolidated option for ART due to its chemical adhesion, fluoride release, technical simplicity, and feasibility in clinical and public health settings. Although bioactive resin-based materials, ion-releasing materials, and alkasites present promising perspectives, limitations still remain regarding technical complexity, dependence on equipment, cost, and lack of long-term clinical evidence. It is concluded that bioactive materials, especially high-viscosity glass ionomer cement, play an important role in ART and secondary caries prevention, and robust, standardized clinical studies are still needed to confirm the effectiveness of new restorative technologies.

Keywords: *Atraumatic Restorative Treatment. Bioactive materials. Glass ionomer cement. Secondary caries. Public health.*

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ART – Tratamento Restaurador Atraumático.

BVS – Biblioteca Virtual em Saúde.

CIV – Cimento de Ionômero de Vidro.

LILACS – Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde.

MEDLINE – *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online*.

pH – Potencial hidrogeniônico.

PubMed – Base de dados de literatura biomédica mantida pela *National Library of Medicine*.

SDF – *Silver Diamine Fluoride*, ou diamino fluoreto de prata.

SciELO – *Scientific Electronic Library Online*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivos gerais	12
2.2 Objetivos específicos	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS	13
4. REVISÃO DE LITERATURA	15
4.1 Tratamento Restaurador Atraumático, mínima intervenção e bioatividade... 15	
4.2 Cimento de ionômero de vidro no ART: adesão química, liberação iônica e remineralização	16
4.3 Materiais resinosos bioativos, alcasites e novas tecnologias restauradoras.....	17
4.4 Desempenho clínico, sobrevivência restauradora e prevenção secundária de cárie	18
4.5 Aplicabilidade em saúde coletiva e perspectivas dos materiais bioativos no ART.....	19
5. DISCUSSÃO	21
6. CONCLUSÃO	25
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
APÊNDICE 1	29

1 INTRODUÇÃO

A cárie dentária permanece como uma das condições de saúde bucal mais prevalentes e, em muitos contextos, mantém-se associada a desigualdades de acesso a serviços odontológicos e a barreiras estruturais para tratamento restaurador convencional. Nesse cenário, estratégias de mínima intervenção têm sido valorizadas por possibilitarem manejo mais conservador, com menor dependência de equipamentos e maior aplicabilidade em cenários comunitários. O Tratamento Restaurador Atraumático (ART) consolidou-se como uma dessas abordagens, por se basear na remoção seletiva do tecido cariado com instrumentais manuais e posterior restauração adesiva, historicamente com materiais ionoméricos, mostrando viabilidade em programas coletivos e ambientes com recursos limitados (FRENCKEN; MAKONI; SITHOLE, 1996).

Ao longo do tempo, o cimento de ionômero de vidro (CIV) destacou-se no ART por características clínicas relevantes, como adesão química à estrutura dentária e liberação de fluoreto. A liberação e a possibilidade de recarga de fluoreto por materiais restauradores são frequentemente discutidas como fatores que podem contribuir para redução de recidiva e controle de lesões ao redor das restaurações, particularmente em pacientes com maior risco de cárie. Revisões que analisam materiais empregados em procedimentos minimamente invasivos apontam que o comportamento de liberação e recarga de fluoreto varia conforme a composição e o tipo de material, bem como condições do meio e protocolos clínicos, reforçando a importância de se discutir esses mecanismos como parte da prevenção secundária de cárie (KUMARI et al., 2019).

Entretanto, a discussão contemporânea ultrapassa a ideia de escolher um material apenas por “ser ionomérico” ou por sua viscosidade, e passa a incorporar o conceito de materiais restauradores bioativos. Em odontologia restauradora, a noção de bioatividade tem sido associada à capacidade de determinados materiais interagirem com o meio bucal e com a estrutura dental por meio de liberação iônica, formação de camadas apatíticas, modulação do biofilme e potencial de favorecer processos de remineralização, sem perder de vista o desempenho restaurador. Revisões recentes destacam, porém, que ainda existe heterogeneidade conceitual e metodológica na definição e mensuração de “bioatividade” aplicada a materiais restauradores diretos, o que dificulta comparações e padronização de evidências (ABOZAID *et al.*, 2025).

Do ponto de vista clínico, o debate se torna especialmente relevante quando se considera que um dos principais motivos de falhas restauradoras é a ocorrência de cárie secundária, sobretudo em indivíduos e populações com alto risco. Uma revisão

sistemática com meta-análise em rede comparou a eficácia clínica de materiais classificados como bioativos e materiais convencionais no controle de cárie secundária, demonstrando que há diferenças entre grupos de materiais e que a escolha do material pode influenciar desfechos relacionados à recidiva, reforçando a necessidade de sínteses que aproximem a discussão do contexto clínico (PINTO *et al.*, 2023). Além disso, revisões recentes voltadas ao ART discutem a efetividade do tratamento, o desempenho de materiais e aspectos de aplicabilidade, apontando que a longevidade das restaurações e os resultados em diferentes cenários dependem tanto do material quanto de fatores operatórios e do contexto de risco do paciente (DIPALMA *et al.*, 2025).

Paralelamente, estratégias minimamente invasivas que integram controle químico de cárie e restauração vêm sendo discutidas como alternativas em cenários específicos, reforçando a relevância do conceito de “prevenção secundária” como desfecho central na cariologia contemporânea. Nesse sentido, revisões e análises recentes sobre o uso do diamino fluoreto de prata (SDF) em manejo e prevenção de lesões também ajudam a contextualizar por que o controle de recidiva deve ser considerado ao avaliar materiais e protocolos restauradores em populações vulneráveis e de alto risco (RODRIGUES *et al.*, 2024).

Diante desse panorama, torna-se pertinente atualizar o enfoque tradicional do ART por meio de uma análise integrativa sobre materiais restauradores bioativos no contexto de restaurações atraumáticas. Assim, este estudo propõe uma revisão integrativa da literatura para analisar o desempenho clínico de materiais bioativos empregados no ART e discutir seu potencial na prevenção secundária de cárie, considerando desfechos como sucesso/sobrevivência restauradora, falhas e ocorrência de cárie secundária, além de limitações e aplicabilidade clínica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Analisar, por meio de uma revisão integrativa da literatura, o desempenho clínico de materiais restauradores bioativos utilizados no Tratamento Restaurador Atraumático (ART), com ênfase na prevenção secundária de cárie e nos principais desfechos de sucesso/restauração.

2.2 Objetivos específicos

Definir e contextualizar o conceito de bioatividade em materiais restauradores aplicáveis ao ART, descrevendo mecanismos como liberação e recarga iônica e potencial de remineralização.

Identificar, na literatura, as classes de materiais bioativos utilizadas em ART (ex.: CIV convencional/alta viscosidade e materiais resinosos/ion-releasing quando aplicáveis ao contexto minimamente invasivo) e seus protocolos de indicação.

Avaliar os principais desfechos clínicos reportados para restaurações ART com materiais bioativos, como taxa de sobrevivência/sucesso, perda de retenção, fratura/desgaste e integridade marginal.

Analisar evidências sobre cárie secundária e prevenção secundária de cárie associadas ao uso de materiais bioativos em restaurações relacionadas ao ART.

Discutir vantagens, limitações e aplicabilidade em saúde pública/alto risco, considerando cenário clínico, custo/viabilidade operacional e qualidade das evidências disponíveis.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo caracterizou-se como uma revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa e descritiva, voltada à análise do desempenho clínico de materiais restauradores bioativos utilizados no Tratamento Restaurador Atraumático (ART), com ênfase em desfechos relacionados à prevenção secundária de cárie. A revisão foi conduzida em etapas sistematizadas, contemplando definição da questão norteadora, estratégias de busca, seleção dos estudos, extração dos dados e síntese dos achados.

A busca bibliográfica foi realizada nas bases PubMed/MEDLINE, SciELO e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS/LILACS), por reunirem literatura relevante em odontologia restauradora, cariologia e saúde coletiva. Foram considerados estudos publicados no período de 2000 a 2026, nos idiomas português, inglês e espanhol, além daqueles que apresentaram relevância histórica. A pergunta norteadora foi estruturada envolvendo indivíduos com lesões de cárie tratadas por ART; intervenção composta pelo uso de materiais restauradores com descrição de bioatividade (por exemplo, liberação iônica e potencial de interação remineralizante); comparação com materiais convencionais ou outras categorias restauradoras; e desfechos clínicos como taxa de sucesso/sobrevivência, falhas restauradoras e ocorrência de cárie secundária/recorrência.

Os descritores e palavras-chave foram definidos previamente e adaptados a cada base, utilizando operadores booleanos *AND/OR*. Foram empregados termos como “*atraumatic restorative treatment*”, “*ART*”, “*bioactive*”, “*ion-releasing*”, “*glass ionomer*”, “*high viscosity glass ionomer*”, “*resin-modified glass ionomer*”, “*secondary caries*”, “*caries recurrence*”, “*survival*” e “*longevity*”, além de seus correspondentes em português e espanhol quando aplicável. A estratégia de busca foi complementada por rastreamento manual das listas de referências dos estudos incluídos e de revisões relevantes sobre o tema, com o objetivo de identificar publicações adicionais.

A seleção dos estudos ocorreu em três fases: triagem por títulos, triagem por resumos e leitura na íntegra dos artigos potencialmente elegíveis. Foram incluídos estudos clínicos (ensaios clínicos randomizados, estudos prospectivos, coortes e observacionais com seguimento) e revisões sistemáticas que abordassem o ART ou técnica compatível descrita como remoção manual seletiva do tecido cariado seguida de restauração adesiva, desde que apresentassem identificação do material restaurador

utilizado e ao menos um desfecho clínico de interesse. Foram excluídos estudos exclusivamente laboratoriais (in vitro) sem correlação clínica, relatos de caso isolados, publicações duplicadas, estudos sem relação central com ART ou com materiais bioativos, resumos sem acesso ao texto completo e documentos não científicos, como materiais publicitários, conteúdos comerciais e textos opinativos.

Os dados dos estudos incluídos foram extraídos e organizados em planilha padronizada (APÊNDICE 1), contendo informações sobre autor/ano, país, delineamento, população, tipo de dentição (decídua/permanente), tipo de cavidade/superfície, material restaurador classificado como bioativo e suas características, protocolo ART, tempo de acompanhamento, critérios clínicos de avaliação e resultados relacionados a sucesso/sobrevivência, falhas e cárie secundária.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Tratamento Restaurador Atraumático, mínima intervenção e bioatividade

O Tratamento Restaurador Atraumático (ART) está inserido no contexto da odontologia minimamente invasiva por priorizar a remoção seletiva do tecido cariado, a preservação da estrutura dental passível de remineralização e a utilização de materiais restauradores adesivos capazes de promover adequado selamento cavitário. Segundo Frencken, Makoni e Sithole (1996), a técnica foi desenvolvida com o objetivo de ampliar o acesso ao tratamento restaurador em locais com recursos limitados, utilizando instrumentais manuais e materiais que dispensam infraestrutura complexa. Essa característica tornou o ART uma estratégia relevante em programas de saúde coletiva, especialmente em populações vulneráveis, crianças e pacientes com maior dificuldade de acesso ao tratamento odontológico convencional.

De acordo com Frencken (2004), o ART não deve ser compreendido apenas como uma técnica simplificada, mas como uma abordagem biológica e conservadora, fundamentada na preservação do dente e no controle da doença cárie. Nesse protocolo, a remoção seletiva permite a manutenção da dentina afetada, desde que ela esteja livre de tecido infectado irreversível e protegida por um material capaz de vedar a cavidade e favorecer condições para sua estabilização. Assim, o sucesso do ART depende não apenas da habilidade técnica do operador, mas também da escolha de um material restaurador compatível com os princípios da mínima intervenção.

Nesse contexto, a bioatividade torna-se um conceito central. Segundo Tay e Pashley (2008), a remineralização biomimética está relacionada à possibilidade de favorecer a reposição mineral em substratos dentinários parcialmente desmineralizados. Essa perspectiva é especialmente importante no ART, pois a dentina afetada preservada mantém potencial de remineralização quando protegida por um material capaz de selar a cavidade, liberar íons e contribuir para o controle bacteriano. Dessa forma, a bioatividade não representa apenas uma propriedade adicional, mas um fator diretamente relacionado à proposta biológica do tratamento.

Hench (2006), ao discutir o desenvolvimento dos materiais bioativos, destaca que esses materiais se diferenciam dos biomateriais inertes por apresentarem capacidade de interação com os tecidos e com o ambiente biológico. Na odontologia restauradora, Vallittu *et al.* (2018) ampliam essa compreensão ao relacionar a bioatividade à liberação iônica, à formação de camadas minerais, à modulação da interface restauradora e ao potencial de estimular processos de remineralização. Mais recentemente, Abozaid *et al.*

(2025) ressaltam que, apesar do uso crescente do termo “bioativo”, ainda existe heterogeneidade na forma como essa propriedade é definida e avaliada, uma vez que diferentes estudos utilizam critérios variados, como liberação de íons, formação de apatita, atividade antibacteriana, neutralização ácida e desempenho clínico.

4.2 Cimento de ionômero de vidro no ART: adesão química, liberação iônica e remineralização

O cimento de ionômero de vidro (CIV), especialmente em sua versão de alta viscosidade, consolidou-se como o material mais associado ao ART por reunir propriedades compatíveis com a técnica, como adesão química à estrutura dentária, liberação de fluoreto, biocompatibilidade e manipulação relativamente simples. Segundo Frencken *et al.* (2012), o CIV apresenta vantagens importantes para o tratamento atraumático, pois permite a restauração sem necessidade de equipamentos complexos, adere ao esmalte e à dentina e contribui para o controle da progressão da cárie por meio da liberação de íons.

Sidhu e Nicholson (2016) descrevem que os cimentos ionoméricos apresentam reação de presa do tipo ácido-base, envolvendo a interação entre ácido polialquenoico e partículas de vidro fluorossilicato. Essa reação forma uma matriz capaz de estabelecer trocas iônicas com o meio bucal e de promover adesão química à estrutura dental, principalmente pela interação entre grupos carboxila do cimento e íons cálcio presentes na hidroxiapatita. Essa característica distingue o CIV de materiais cuja retenção depende predominantemente de mecanismos micromecânicos.

A liberação e a recarga de fluoreto são propriedades importantes dos ionômeros no contexto do ART. De acordo com Kumari *et al.* (2019), materiais utilizados nessa técnica podem apresentar diferentes padrões de liberação e recarga de fluoreto, influenciados pela composição, maturação, exposição ao meio bucal e contato com fontes externas, como dentifrícios fluoretados. Ngo *et al.* (2006) descrevem que restaurações de ionômero de vidro podem atuar como reservatórios de fluoreto, absorvendo íons do meio e liberando-os novamente em situações de maior desafio ácido. Esse comportamento justifica a associação do CIV à ideia de “bateria iônica”, na qual há liberação e recarga contínuas de íons no microambiente restaurador.

Segundo Frencken (2018), a liberação contínua de fluoreto e a interação do CIV com a estrutura dental ajudam a explicar sua permanência como material de referência no ART. A presença de fluoreto no microambiente pode favorecer a formação de minerais

mais resistentes ao desafio ácido e interferir no metabolismo de bactérias acidogênicas, contribuindo para a prevenção secundária de cárie. Além disso, quando a dentina afetada é preservada e adequadamente isolada do meio bucal, cria-se um ambiente mais favorável à estabilização da lesão e à proteção do complexo dentino-pulpar.

Bonifácio *et al.* (2012) destacam que os CIVs indicados para ART passaram por aprimoramentos físico-mecânicos, especialmente nas versões de alta viscosidade. Esses materiais apresentam maior conteúdo de carga e resistência superior quando comparados aos ionômeros convencionais de menor viscosidade, favorecendo sua aplicação em restaurações atraumáticas. Ainda assim, seu desempenho clínico depende de fatores como correta manipulação, controle de umidade, proteção superficial inicial e adequada seleção do caso.

4.3 Materiais resinosos bioativos, alkasites e novas tecnologias restauradoras

Além dos cimentos ionoméricos, materiais resinosos bioativos, materiais *ion-releasing* e *alkasites* têm sido desenvolvidos com a proposta de ampliar as possibilidades da odontologia restauradora. Os materiais *ion-releasing* correspondem àqueles capazes de liberar íons no meio bucal, como flúor, cálcio, fosfato ou estrôncio, contribuindo para a proteção da interface dente-restauração e para condições mais favoráveis à remineralização. Já os *alkasites* representam uma categoria de materiais restauradores resinosos com carga alcalina e potencial de liberação iônica, desenvolvidos para associar propriedades mecânicas e estéticas semelhantes às das resinas compostas a uma possível ação bioativa, relacionada também à neutralização parcial de ácidos. Segundo Abozaid *et al.* (2025), essas tecnologias refletem uma tendência atual da odontologia restauradora, pois buscam integrar desempenho clínico, liberação de íons e interação com o meio bucal.

Apesar do potencial desses materiais, sua aplicação no protocolo do Tratamento Restaurador Atraumático (ART) deve ser analisada com cautela. Bonifácio *et al.* (2012) destacam que os materiais indicados para ART precisam apresentar propriedades físico-mecânicas adequadas, mas também devem ser compatíveis com a simplicidade técnica da abordagem, especialmente em ambientes de campo ou em contextos de saúde coletiva.

Nesse sentido, materiais que exigem condicionamento ácido, aplicação de sistema adesivo, controle rigoroso de umidade ou fotopolimerização podem apresentar limitações práticas, pois aumentam a dependência de equipamentos, tempo clínico e condições operatórias mais controladas.

Abozaid *et al.* (2025) também ressaltam a importância de diferenciar resultados laboratoriais promissores de efetividade clínica comprovada. Embora novos materiais possam demonstrar liberação iônica, formação de apatita e propriedades bioativas em estudos experimentais, sua utilização no ART depende de evidências clínicas que confirmem bom desempenho em condições reais. Para isso, devem ser considerados desfechos como sobrevivência restauradora, ocorrência de cárie secundária, integridade marginal, falhas mecânicas e aplicabilidade em pacientes com alto risco de cárie.

Dessa forma, os materiais resinosos bioativos e os *alkasites* representam alternativas promissoras e ampliam o campo dos materiais restauradores contemporâneos. Entretanto, ainda não apresentam o mesmo grau de consolidação clínica do CIV de alta viscosidade no contexto do ART. Sua indicação deve considerar não apenas estética e resistência mecânica, mas também simplicidade técnica, custo, necessidade de equipamentos, controle de umidade e compatibilidade com a proposta de mínima intervenção em saúde pública.

4.4 Desempenho clínico, sobrevivência restauradora e prevenção secundária de cárie

O desempenho clínico das restaurações ART depende de diversos fatores, incluindo o tipo de material restaurador, a dentição envolvida, o número de superfícies restauradas, a técnica operatória e o risco de cárie do paciente. Van't Hof *et al.* (2006), em metanálise sobre o ART, observaram que restaurações de superfície única realizadas com CIV de alta viscosidade apresentam bons índices de sobrevivência em dentes decíduos e permanentes. No entanto, os autores também apontam que restaurações envolvendo múltiplas superfícies apresentam maior taxa de falha, especialmente na dentição decídua.

De modo semelhante, De Amorim, Leal e Frencken (2012) analisaram a sobrevivência de selantes e restaurações ART e observaram melhores resultados em restaurações de uma superfície, principalmente quando confeccionadas com ionômeros de alta viscosidade. Esses achados reforçam que a longevidade do ART não depende exclusivamente da bioatividade do material, mas também da complexidade da cavidade, da carga oclusal, da técnica de inserção e das condições clínicas de acompanhamento.

Mickenausch, Yengopal e Banerjee (2010) compararam a longevidade de restaurações ART com restaurações de amálgama e relataram que o desempenho do ART pode ser semelhante ou superior em determinados períodos de acompanhamento,

especialmente em restaurações de menor complexidade. Dipalma *et al.* (2025) também destacam que a efetividade dos materiais restauradores em dentes decíduos cariados depende do tipo de cavidade e da técnica empregada, sendo as cavidades de múltiplas superfícies mais suscetíveis a falhas por fratura, desgaste ou perda de retenção.

A cárie secundária representa outro desfecho importante na avaliação de materiais restauradores bioativos, principalmente em pacientes com alto risco. Segundo Pinto *et al.* (2023), materiais bioativos podem apresentar diferenças clínicas relevantes no controle de cárie secundária quando comparados a materiais restauradores convencionais. A revisão sistemática com meta-análise em rede conduzida pelos autores sugere que a escolha do material pode influenciar a recidiva de lesões, embora os resultados dependam das características dos estudos, dos materiais avaliados e do contexto clínico.

Além das restaurações, estratégias não invasivas também são relevantes para o controle químico da doença. Rodrigues *et al.* (2024) destacam que o diamino fluoreto de prata (SDF) apresenta aplicação importante na prevenção e no controle de lesões cariosas, especialmente em populações vulneráveis. Zhao *et al.* (2018) descrevem que seus mecanismos envolvem ação antimicrobiana, inibição da desmineralização, estímulo à remineralização e proteção da matriz colágena contra degradação. Embora o SDF não substitua a restauração quando há necessidade de reabilitação anatômica e funcional, ele pode atuar como estratégia complementar ou alternativa em determinados cenários de saúde pública.

4.5 Aplicabilidade em saúde coletiva e perspectivas dos materiais bioativos no ART

O ART apresenta forte relação com a saúde coletiva por permitir tratamento restaurador com menor dependência de equipamentos complexos. Segundo Frencken, Makoni e Sithole (1996), sua aplicação em programas escolares demonstrou viabilidade em cenários com restrições estruturais, reforçando seu potencial para ampliar o acesso ao cuidado odontológico. Essa característica permanece relevante em populações vulneráveis, nas quais barreiras geográficas, econômicas e estruturais dificultam o acesso ao tratamento odontológico convencional.

Nesse contexto, a escolha do material restaurador deve considerar não apenas desempenho laboratorial ou estética, mas também simplicidade técnica, custo, disponibilidade, estabilidade, facilidade de manipulação e necessidade de infraestrutura. Segundo Kumari *et al.* (2019), os materiais utilizados no ART devem ser avaliados quanto à liberação de fluoreto e à capacidade de contribuir para a prevenção secundária de cárie,

mas também quanto à sua viabilidade clínica em ambientes de campo. Assim, materiais que exigem fotopolimerização, sistema adesivo complexo ou controle rigoroso de umidade podem apresentar limitações em programas comunitários, mesmo quando demonstram propriedades bioativas em estudos laboratoriais.

Rodrigues *et al.* (2024) contribuem para essa compreensão ao demonstrar a relevância de terapias de controle químico, como o SDF, em contextos de alta vulnerabilidade. Entretanto, quando há necessidade de restauração da função, proteção da dentina remanescente e selamento cavitário, o CIV de alta viscosidade permanece como alternativa compatível com o ART por equilibrar bioatividade, adesão química, liberação iônica e simplicidade operacional.

A odontologia restauradora tem avançado em direção ao desenvolvimento de materiais mais interativos, capazes de participar de processos de remineralização, modulação do biofilme e controle da interface restauradora. Hench (2006) e Vallittu *et al.* (2018) destacam que os materiais bioativos representam uma tendência importante no campo dos biomateriais, pois ampliam a função do material restaurador para além do preenchimento cavitário. No entanto, Abozaid *et al.* (2025) ressaltam que ainda são necessários critérios mais padronizados para avaliar a bioatividade, além de ensaios clínicos de longo prazo que permitam comparar materiais e definir protocolos de indicação mais seguros.

Assim, dentro do protocolo ART, o CIV de alta viscosidade permanece como material de referência, principalmente por reunir liberação iônica, adesão química, aplicabilidade clínica e viabilidade em saúde pública. Os materiais resinosos bioativos e os alcasites apresentam perspectivas promissoras, mas ainda demandam maior validação clínica para que sua indicação seja consolidada em cenários atraumáticos e comunitários.

5 DISCUSSÃO

A análise da literatura evidencia que os materiais restauradores bioativos exercem papel central no Tratamento Restaurador Atraumático (ART), especialmente porque essa abordagem não se limita ao preenchimento cavitário, mas envolve preservação de estrutura dentária, controle da doença cárie e prevenção de novas lesões. Em consonância com os objetivos deste trabalho, observa-se que a bioatividade deve ser compreendida como fator diretamente relacionado ao sucesso clínico do ART, uma vez que a técnica preconiza a remoção seletiva do tecido cariado e a preservação da dentina afetada. Nesse contexto, o material restaurador precisa contribuir para o selamento cavitário, para a redução do desafio bacteriano e para a criação de um ambiente favorável à remineralização. Frencken, Makoni e Sithole (1996) consolidaram o ART como uma estratégia viável em programas de saúde bucal, principalmente por sua simplicidade técnica e aplicabilidade em locais com poucos recursos. Essa proposta permanece atual, pois a cárie dentária ainda se relaciona a desigualdades de acesso e dificuldades para realização do tratamento convencional. Frencken (2004) reforça essa compreensão ao apresentar o ART como uma abordagem conservadora e biológica, voltada à preservação do dente e ao controle da doença. Assim, a escolha do material restaurador deve considerar não apenas resistência mecânica, mas também capacidade de interagir com o tecido remanescente e manter estabilidade clínica.

Os conceitos de bioatividade descritos por Tay e Pashley (2008), Hench (2006) e Vallittu *et al.* (2018) ajudam a compreender essa necessidade. Tay e Pashley (2008) associam a remineralização biomimética à recuperação mineral de substratos dentinários afetados, o que se aproxima da lógica do ART. Hench (2006) diferencia materiais bioativos de materiais inertes ao destacar sua capacidade de interação com o meio biológico, enquanto Vallittu *et al.* (2018) relacionam a bioatividade à liberação iônica, formação mineral e resposta da interface restauradora. Esses autores convergem ao indicar que o material restaurador moderno deve atuar de forma mais interativa, e não apenas como substituto físico da estrutura perdida.

Entretanto, Abozaid *et al.* (2025) chamam atenção para a heterogeneidade do conceito de bioatividade na literatura. Alguns estudos consideram bioativo o material que libera íons, enquanto outros valorizam formação de apatita, atividade antibacteriana, neutralização ácida ou desempenho clínico. Essa variação dificulta comparações diretas entre materiais e pode superestimar resultados laboratoriais ainda não confirmados clinicamente. Para o ART, essa observação é relevante, pois a indicação de um material

deve considerar não apenas seu potencial bioativo, mas também sua sobrevivência restauradora, ocorrência de cárie secundária, falhas mecânicas e viabilidade em campo.

Entre os materiais avaliados, o cimento de ionômero de vidro de alta viscosidade permanece como o mais coerente com a filosofia do ART. Frencken *et al.* (2012) destacam que o CIV apresenta adesão química, liberação de fluoreto e aplicação simples, características que justificam sua ampla utilização em restaurações atraumáticas. Sidhu e Nicholson (2016) explicam que essa adesão ocorre pela interação entre os grupos carboxila do material e os íons cálcio da hidroxiapatita, diferenciando o CIV de materiais que dependem predominantemente de retenção micromecânica ou de protocolos adesivos mais complexos.

A liberação e recarga de fluoreto também explicam o destaque do CIV no ART. Kumari *et al.* (2019) relatam que os materiais utilizados nessa técnica apresentam diferentes padrões de liberação e recarga iônica, influenciados pela composição, maturação e exposição a fontes externas de fluoreto. Ngo *et al.* (2006) descrevem o ionômero como um reservatório capaz de absorver íons do meio e liberá-los novamente em situações de queda do pH, característica frequentemente associada à ideia de “bateria iônica”. Frencken (2018) reforça que esse comportamento contribui para a estabilização da lesão e para a prevenção secundária de cárie, especialmente em pacientes de maior risco.

Apesar dessas vantagens, o sucesso clínico do CIV não depende apenas de sua bioatividade. Bonifácio *et al.* (2012) demonstram que os CIVs de alta viscosidade apresentam propriedades físico-mecânicas aprimoradas, mas exigem correta manipulação, controle de umidade, proteção superficial inicial e seleção adequada do caso. Essa observação dialoga com os achados de Van't Hof *et al.* (2006), que identificaram bons índices de sobrevivência em restaurações ART de superfície única, especialmente com CIV de alta viscosidade. De Amorim, Leal e Frencken (2012) também verificaram melhores resultados em restaurações de uma superfície e selantes ART, reforçando que a longevidade da técnica depende da complexidade da cavidade e das condições clínicas.

Mickenausch, Yengopal e Banerjee (2010), ao compararem restaurações ART com restaurações de amálgama, demonstraram que o ART pode apresentar desempenho semelhante ou favorável em determinados contextos, sobretudo quando bem indicado. Por outro lado, Dipalma *et al.* (2025) destacam que cavidades de múltiplas superfícies, especialmente em dentes decíduos, apresentam maior risco de falhas por fratura, desgaste

ou perda de retenção. Esses achados ajudam a justificar a heterogeneidade dos resultados clínicos, indicando que o CIV apresenta bom comportamento biológico, mas sua longevidade mecânica pode ser mais desafiada em cavidades amplas ou áreas submetidas a maior carga oclusal.

Quando comparado aos materiais resinosos bioativos, materiais *ion-releasing* e *alkasites*, o CIV ainda apresenta maior compatibilidade com o ART. Abozaid *et al.* (2025) descrevem esses materiais como uma tendência promissora, por associarem propriedades mecânicas e estéticas das resinas à liberação de íons e à possível neutralização ácida. Contudo, Bonifácio *et al.* (2012) ressaltam que materiais indicados para o tratamento atraumático precisam ser compatíveis com a simplicidade técnica e com ambientes de campo. Assim, materiais que exigem condicionamento ácido, sistema adesivo, controle rigoroso de umidade ou fotopolimerização podem se afastar da proposta original do ART, que valoriza baixa dependência tecnológica.

Essa diferença entre potencial laboratorial e aplicabilidade clínica é essencial. Embora os materiais bioativos modernos apresentem resultados promissores quanto à liberação iônica e à formação de apatita, Abozaid *et al.* (2025) reforçam que ainda são necessárias evidências clínicas de longo prazo para confirmar sua efetividade. Portanto, os *alkasites* e materiais *ion-releasing* ampliam as possibilidades da odontologia restauradora, mas ainda não apresentam o mesmo nível de consolidação clínica do CIV de alta viscosidade no ART, especialmente em saúde coletiva e em pacientes com alto risco de cárie.

No campo da prevenção secundária, Pinto *et al.* (2023) demonstram que materiais bioativos podem apresentar diferenças relevantes no controle de cárie secundária quando comparados a materiais convencionais. Esse dado reforça a necessidade de avaliar os materiais não apenas pela retenção ou resistência, mas também pela capacidade de interferir no microambiente cariogênico. Entretanto, como os resultados variam conforme o tipo de material, o desenho do estudo e o contexto clínico, ainda não se pode assumir que todos os materiais classificados como bioativos tenham desempenho equivalente.

A discussão sobre prevenção secundária também envolve o diamino fluoreto de prata. Rodrigues *et al.* (2024) destacam a importância do SDF no controle de lesões cáries em populações vulneráveis, enquanto Zhao *et al.* (2018) explicam seus mecanismos de ação, incluindo efeito antimicrobiano, inibição da desmineralização, estímulo à remineralização e proteção da matriz colágena. No entanto, embora o SDF seja relevante para o controle químico da doença, ele não substitui a restauração quando há

necessidade de restabelecer forma, função e selamento cavitário. Nesse sentido, pode atuar como recurso complementar ou alternativa em situações específicas, enquanto o CIV mantém maior aplicabilidade quando a restauração funcional é necessária.

Sob a perspectiva da saúde coletiva, a escolha do material restaurador deve considerar desempenho clínico, custo, disponibilidade, facilidade de uso e viabilidade operacional. Frencken, Makoni e Sithole (1996) já demonstravam a relevância do ART em programas escolares e em locais com infraestrutura limitada, e Kumari *et al.* (2019) reforçam que os materiais utilizados nessa técnica devem ser avaliados tanto pelo potencial de prevenção secundária quanto pela aplicabilidade em campo. Assim, materiais de alto custo ou dependentes de infraestrutura elétrica podem não ser adequados para programas comunitários de larga escala, mesmo quando apresentam propriedades bioativas interessantes.

Portanto, a literatura analisada sugere que o futuro dos materiais restauradores no ART deve buscar equilíbrio entre inovação e realidade clínica. Embora Hench (2006) e Vallittu *et al.* (2018) apontem os materiais bioativos como tendência importante para ampliar a função dos biomateriais, Abozaid *et al.* (2025) demonstram que essa evolução precisa ser acompanhada por padronização metodológica e estudos clínicos de longo prazo. Assim, o CIV de alta viscosidade permanece como a opção mais consolidada para o ART, enquanto as novas tecnologias devem ser compreendidas como possibilidades em evolução, ainda dependentes de evidência clínica mais robusta.

6 CONCLUSÃO

A presente revisão integrativa permitiu concluir que os materiais restauradores bioativos apresentam papel relevante no Tratamento Restaurador Atraumático, especialmente por contribuírem para o selamento cavitário, a liberação e recarga iônica, a remineralização da dentina afetada e a prevenção secundária de cárie. Entre os materiais avaliados, o cimento de ionômero de vidro de alta viscosidade permanece como a opção mais consolidada para o ART, por reunir adesão química à estrutura dentária, liberação de fluoreto, simplicidade técnica e viabilidade de uso em contextos clínicos e de saúde pública.

Embora materiais resinosos bioativos, *ion-releasing* e *alkasites* representem alternativas promissoras, sua aplicação no ART ainda apresenta limitações relacionadas à necessidade de etapas clínicas mais complexas, maior dependência tecnológica, custo e menor consolidação clínica em longo prazo. Assim, a escolha do material restaurador deve considerar não apenas o potencial bioativo, mas também a sobrevivência restauradora, o risco de cárie, a complexidade da cavidade, a viabilidade operacional e o contexto em que o tratamento será realizado. Portanto, apesar dos avanços na área, ainda são necessários estudos clínicos robustos, com acompanhamento longitudinal e metodologias padronizadas, para confirmar a efetividade desses novos materiais no ART e na prevenção secundária de cárie.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOZAID, Dina; AZAB, Amr; BAHNSAWY, Mohammad A.; ELDEBAWY, Mohamed; AYAD, Abdullah; SOOMRO, Romesa; ELWAKEEL, Enas; MOHAMED, Maged Ahmed. Bioactive restorative materials in dentistry: a comprehensive review of mechanisms, clinical applications, and future directions. *Odontology*, Tokyo, 2025. DOI: 10.1007/s10266-025-01162-w.

BONIFÁCIO, C. C.; KLEVERLAAN, C. J.; RAGGIO, D. P.; WERNER, A.; CARVALHO, R. C. R.; VAN AMERONGEN, W. E. Physical-mechanical properties of glass ionomer cements indicated for atraumatic restorative treatment. *Australian Dental Journal*, Sydney, v. 54, n. 3, p. 233-237, 2009. DOI: 10.1111/j.1834-7819.2009.01125.x.

DE AMORIM, Rodrigo Galo; LEAL, Soraya Coelho; FRENCKEN, Jo E. Survival of atraumatic restorative treatment (ART) sealants and restorations: a meta-analysis. *Clinical Oral Investigations*, Berlin, v. 16, n. 2, p. 429-441, 2012. DOI: 10.1007/s00784-011-0513-3.

DIPALMA, Gianna; INCHINGOLO, Angelo Michele; CASAMASSIMA, Lucia; NARDELLI, Paola; CICCARESE, Danilo; DE SENA, Paolo; INCHINGOLO, Francesco; PALERMO, Andrea; SEVERINO, Marco; MASPERO, Cinzia Maria Norma; INCHINGOLO, Alessio Danilo. Effectiveness of dental restorative materials in the atraumatic treatment of carious primary teeth in pediatric dentistry: a systematic review. *Children*, Basel, v. 12, n. 4, artigo 511, 2025. DOI: 10.3390/children12040511.

FRENCKEN, Jo E. Atraumatic Restorative Treatment (ART): a three-decade-long global success story. *British Dental Journal*, London, v. 224, n. 9, p. 733-738, 2018. DOI: 10.1038/sj.bdj.2018.314.

FRENCKEN, Jo E.; MAKONI, Fanuel; SITHOLE, Walter D. Atraumatic restorative treatment and glass-ionomer sealants in a school oral health programme in Zimbabwe: evaluation after 1 year. *Caries Research*, Basel, v. 30, n. 6, p. 428-433, 1996. DOI: 10.1159/000262355.

FRENCKEN, Jo E.; PILOT, Taco; SONGPAISAN, Y.; PHANTUMVANIT, P. Atraumatic restorative treatment (ART): rationale, technique, and development. *Journal*

of Public Health Dentistry, Raleigh, v. 56, n. 3, p. 135-140, 1996. DOI: 10.1111/j.1752-7325.1996.tb02423.x.

HENCH, Larry L. The story of Bioglass®. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, London, v. 17, n. 11, p. 967-978, 2006. DOI: 10.1007/s10856-006-0432-z.

KUMARI, P. Divya; KHIJMATGAR, Shahnawaz; CHOWDHURY, Avidyuti; LYNCH, Edward; CHOWDHURY, Chitta R. Factors influencing fluoride release in atraumatic restorative treatment (ART) materials: a review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, Amsterdam, v. 9, n. 4, p. 315-320, 2019. DOI: 10.1016/j.jobcr.2019.06.015.

MICKENAUTSCH, Steffen; YENGOPAL, Veerasamy; BANERJEE, Avijit. Atraumatic restorative treatment versus amalgam restoration longevity: a systematic review. *Clinical Oral Investigations*, Berlin, v. 14, n. 3, p. 233-240, 2010. DOI: 10.1007/s00784-009-0335-8.

NGO, H. C.; MOUNT, G.; MCINTYRE, J.; TUISUVA, J.; VON DÜSZELN, W. A chemical exchange between glass-ionomer restorations and residual carious dentine in permanent molars: an in vivo study. *Journal of Dentistry*, Oxford, v. 34, n. 8, p. 608-613, 2006. DOI: 10.1016/j.jdent.2005.12.012.

PINTO, Noeleni Souza; JORGE, Gabriela Rebouças; VASCONCELOS, Jader; PROBST, Livia Fernandes; DE-CARLI, Alessandro Diogo; FREIRE, Andrea. Clinical efficacy of bioactive restorative materials in controlling secondary caries: a systematic review and network meta-analysis. *BMC Oral Health*, London, v. 23, n. 1, artigo 394, 2023. DOI: 10.1186/s12903-023-03110-y.

RODRIGUES, Gaboriella Fernandes; JURAL, Lucas Alves; MARTINS, Mariana Leonel; VOLLÚ, Ana Lúcia; VICENTE-GOMILA, José; MAIA, Lucianne Cople; CORRÊA, Ivo Carlos; BARJA-FIDALGO, Fernanda; FONSECA-GONÇALVES, Andréa. Clinical findings arising from the use of silver diamine fluoride to prevent or treat caries lesions and dentinal hypersensitivity: a data mining analysis. *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*, João Pessoa, v. 24, e230051, 2024. DOI: 10.1590/pboci.2024.037.

SIDHU, Sharanbir K.; NICHOLSON, John W. A review of glass-ionomer cements for clinical dentistry. *Journal of Functional Biomaterials*, Basel, v. 7, n. 3, artigo 16, 2016. DOI: 10.3390/jfb7030016.

TAY, Franklin R.; PASHLEY, David H. Biomimetic remineralization of resin-bonded acid-etched dentin. *Journal of Dental Research*, Thousand Oaks, v. 88, n. 8, p. 719-724, 2009. DOI: 10.1177/0022034509341826.

VALLITTU, Pekka K.; BOCACCINI, Aldo R.; HUPA, Leena; WATTS, David C. Bioactive dental materials: do they exist and what does bioactivity mean? *Dental Materials*, Amsterdam, v. 34, n. 5, p. 693-694, 2018. DOI: 10.1016/j.dental.2018.03.001.

VAN'T HOF, Martin A.; FRENCKEN, Jo E.; VAN PALENSTEIN HELDERMAN, Wim H.; HOLMGREN, Christopher J. The atraumatic restorative treatment (ART) approach for managing dental caries: a meta-analysis. *International Dental Journal*, London, v. 56, n. 6, p. 345-351, 2006. DOI: 10.1111/j.1875-595X.2006.tb00339.x.

ZHAO, I. S.; GAO, S. S.; HIRAISHI, N.; BURROW, M. F.; DUANGTHIP, D.; MEI, M. L.; LO, E. C. M.; CHU, C. H. Mechanisms of silver diamine fluoride on arresting caries: a literature review. *International Dental Journal*, London, v. 68, n. 2, p. 67-76, 2018. DOI: 10.1111/idj.12320.

APÊNDICE 1 – Caracterização dos estudos incluídos na revisão

Autor/ano	Delineamento	Material/estratégia avaliada	Principais aspectos avaliados	Principais resultados
Frencken, Makoni e Sithole (1996)	Estudo clínico em programa escolar	ART com cimento de ionômero de vidro	Aplicabilidade em saúde coletiva e retenção das restaurações/selantes	Demonstrou viabilidade do ART em ambiente escolar e com recursos limitados, reforçando seu potencial em programas comunitários.
Frencken (2004)	Revisão conceitual	ART e cimento de ionômero de vidro	Racional biológico, técnica e desenvolvimento do ART	Apresentou o ART como abordagem conservadora, voltada à preservação dental e ao controle da doença cárie.
Van't Hof et al. (2006)	Meta-análise	ART com CIV de alta viscosidade	Sobrevivência restauradora em dentes decíduos e permanentes	Restaurações de superfície única apresentaram melhores resultados; cavidades de múltiplas superfícies tiveram maior risco de falha.
Ngo et al. (2006)	Estudo clínico	Cimento de ionômero de vidro	Troca química, liberação iônica e cárie secundária	Indicou potencial do CIV como reservatório de fluoreto e material favorável à proteção da interface restauradora.

Tay e Pashley (2009)	Revisão/conceitual	Remineralização biomimética	Reposição mineral em dentina afetada	Fundamentou o papel da bioatividade na remineralização de substratos dentinários parcialmente desmineralizados.
Mickenautsch, Yengopal e Banerjee (2010)	Revisão sistemática	ART versus amálgama	Longevidade restauradora	O ART apresentou desempenho semelhante ou favorável em determinados contextos, principalmente em restaurações menos complexas.
De Amorim, Leal e Frencken (2012)	Meta-análise	Selantes e restaurações ART	Sobrevivência clínica	Melhores resultados foram observados em restaurações de uma superfície e selantes confeccionados com CIV de alta viscosidade.
Bonifácio et al. (2009)	Estudo laboratorial	CIVs indicados para ART	Propriedades físico-mecânicas	Evidenciou diferenças entre CIVs e reforçou a importância da correta manipulação e seleção do material.
Frencken et al. (2012)	Revisão/atualização	ART e CIV	Técnica, indicação e desenvolvimento do ART	Reforçou a compatibilidade do CIV com o ART pela adesão química, liberação de fluoreto e simplicidade técnica.

Sidhu e Nicholson (2016)	Revisão narrativa	Cimentos de ionômero de vidro	Reação ácido-base, adesão química e liberação iônica	Explicou os mecanismos que justificam a indicação do CIV em procedimentos minimamente invasivos.
Zhao et al. (2018)	Revisão de literatura	Diamino fluoreto de prata	Mecanismos de paralisação da cárie	Descreveu ação antimicrobiana, inibição da desmineralização, estímulo à remineralização e proteção da matriz colágena.
Frencken (2018)	Revisão/relato histórico	ART e CIV de alta viscosidade	Consolidação global do ART	Destacou o ART como abordagem consolidada e o CIV como material central pela bioatividade e aplicabilidade clínica.
Kumari et al. (2019)	Revisão	Materiais utilizados no ART	Liberação e recarga de fluoreto	Demonstrou que a liberação iônica varia conforme composição, maturação e exposição a fontes externas de fluoreto.
Pinto et al. (2023)	Revisão sistemática e meta-análise em rede	Materiais bioativos	Controle de cárie secundária	Indicou que materiais bioativos podem contribuir para o controle de cárie secundária, embora os resultados variem conforme o material.

Rodrigues et al. (2024)	Análise de dados clínicos	Diamino fluoreto de prata	Prevenção e controle de lesões cariosas	Reforçou a relevância do SDF em populações vulneráveis e no controle químico da progressão da cárie.
Abozaid et al. (2025)	Revisão abrangente	Materiais restauradores bioativos	Mecanismos, aplicações e limitações clínicas	Destacou o potencial dos materiais bioativos, mas apontou heterogeneidade conceitual e necessidade de estudos clínicos robustos.
Dipalma et al. (2025)	Revisão sistemática	Materiais restauradores em dentes decíduos cariados	Efetividade, falhas e longevidade	Evidenciou maior risco de falhas em cavidades complexas e de múltiplas superfícies.

Fonte: Elaboração própria, 2026.