Revista Eletrônica
Acervo Saúde
Electronic Journal Collection Health ISSN 2178-2091

Estudo in vitro de dois cimentos de ionômero de vidro modificados por resina e a influência da proteção na sorção em água e resistência a compressão

In vitro study of two resin-modified glass ionomer cements and the influence of surface protection on water sorption and compressive strength

Estudio in vitro de dos cementos de ionomero de vidrio modificados con resina y la influencia de la proteccion superficial en la sorcion de agua y la resistencia a la compresión

Isadora Oliveira dos Santos[1], Reinaldo Silva Bandeira[1], Lavínia Maria Silva Gonçalves[1], Lívia Maria Silva Gonçalves[1], Emmerson Pinheiro de Queiroz [1], Mário Lucas Mateus da Silva Oliveira[1], Maria Clara Ayres Estellita[1], Monique Marques Ribeiro[1], Talita Arrais Daniel Mendes[2], Natasha Muniz Fontes[3].

RESUMO

Objetivo: Avaliar, por meio de ensaio in vitro, a influência de diferentes métodos de proteção superficial na sorção em água e na resistência à compressão diametral de cimentos de ionômero de vidro modificados por resina (CIVMRs), considerando duas marcas comerciais e dois períodos de avaliação (24 horas e 4 meses). **Métodos:** Foram confeccionados 60 corpos de prova, distribuídos conforme material, protocolo de proteção superficial (sem proteção, adesivo odontológico ou verniz fluoretado) e tempo de armazenamento. A sorção em água foi determinada pela variação de massa nos períodos estabelecidos. A resistência à compressão diametral foi avaliada em máquina universal de ensaio. Os dados foram analisados por ANOVA fatorial de três fatores, após verificação da normalidade (α = 5%). **Resultados:** Não houve diferenças significativas na resistência à compressão entre materiais, protocolos ou tempos (p > 0,05). Em 24 horas, a sorção foi influenciada pelo material e pela proteção superficial, com aumento para um dos materiais sob adesivo e redução para o outro na mesma condição. Após 4 meses, os valores tornaram-se semelhantes entre os grupos. **Conclusão:** Os CIVMRs apresentaram desempenho mecânico semelhante, porém a interação entre material e proteção superficial influenciou a sorção inicial, com tendência à estabilização ao longo do tempo.

Palavras-Chave: Cimentos de ionômero de vidro modificado por resina, Resistência à compressão, Sorção em água, Proteção superficial, Efeitos adversos, Forramento da cavidade dentária.

ABSTRACT

Objective: To evaluate, through an in vitro study, the influence of different surface protection methods on water sorption and diametral compressive strength of resin-modified glass ionomer cements (RMGICs),

[1] Centro Universitário Católica de Quixadá (UNICATÓLICA), Quixadá – CE.
[2] Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Fortaleza – CE.
[3] Centro Universitário Doutor Leão Sampaio (UNILEÃO), Juazeiro do Norte – CE.

SUBMETIDO EM: 3/2026 | **ACEITO EM: 4/2026** | **PUBLICADO EM: 5/2026**

considering two commercial brands and two evaluation periods (24 hours and 4 months). **Methods:** Sixty specimens were prepared and distributed according to material, surface protection protocol (no protection, dental adhesive, or fluoride varnish), and storage time. Water sorption was determined by mass variation at the established periods. Diametral compressive strength was assessed using a universal testing machine. Data were analyzed by three-way factorial ANOVA after verification of normality (α = 5%). **Results:** No significant differences in compressive strength were observed among materials, protection protocols, or storage times ($p > 0.05$). At 24 hours, water sorption was influenced by both material and surface protection, with an increase for one material under adhesive application and a reduction for the other under the same condition. After 4 months, sorption values became similar among the groups. **Conclusion:** RMGICs demonstrated similar mechanical performance; however, the interaction between material and surface protection influenced initial sorption, with a tendency toward stabilization over time.

Keywords: Resin-modified glass ionomer cements, Diametral tensile strength, Water sorption, Surface coating, Adverse effects, Dental cavity lining.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar, mediante un estudio in vitro, la influencia de diferentes métodos de protección superficial en la sorción de agua y en la resistencia a la tracción diametral de cementos de ionómero de vidrio modificados con resina (CIVMRs), considerando dos marcas comerciales y dos períodos de evaluación (24 horas y 4 meses). **Métodos:** Se confeccionaron 60 especímenes, distribuidos según el material, el protocolo de protección superficial (sin protección, adhesivo odontológico o barniz fluorado) y el tiempo de almacenamiento. La sorción de agua se determinó mediante la variación de masa en los períodos establecidos. La resistencia a la tracción diametral se evaluó en una máquina universal de ensayos. Los datos fueron analizados mediante ANOVA factorial de tres factores, tras la verificación de la normalidad (α = 5%). **Resultados:** No se observaron diferencias significativas en la resistencia entre materiales, protocolos o tiempos de almacenamiento ($p > 0,05$). A las 24 horas, la sorción estuvo influenciada por el material y la protección superficial, con aumento en uno de los materiales bajo aplicación de adhesivo y disminución en el otro en la misma condición. Después de 4 meses, los valores se volvieron similares entre los grupos. **Conclusión:** Los CIVMRs presentaron desempeño mecánico similar; sin embargo, la interacción entre material y protección superficial influyó en la sorción inicial, con tendencia a la estabilización a lo largo del tiempo.

Palabras clave: Cementos de ionómero de vidrio modificados con resina, Resistencia a la tracción diametral, Sorción de agua, Recubrimiento superficial, Efectos adversos, Revestimiento de la cavidad dental.

INTRODUÇÃO

Os cimentos de ionômero de vidro (CIVs) classificam-se entre convencionais e modificados por resina, apresentando vantagens como auto-adesividade, liberação de flúor, biocompatibilidade e coeficiente térmico semelhante ao dente. Contudo, possuem desvantagens, como baixa resistência ao desgaste, fragilidade ao longo do tempo, além de sofrerem sorção e solubilidade durante a presa, o que pode comprometer o prognóstico restaurador (LISBOA G, et al. 2025; WASSEL M, 2022).

Os cimentos de ionômero de vidro modificados por resina (CIVMR) foram desenvolvidos com o objetivo de associar as propriedades químicas e biológicas dos cimentos de ionômero de vidro convencionais à melhoria do desempenho mecânico proporcionada pela incorporação de componentes resinosos. Esses materiais mantêm a reação ácido-base característica do sistema vidro–poliácido, simultaneamente à polimerização fotoativada de monômeros hidrofílicos, como o 2-hidroxietil metacrilato (HEMA) (REIS A e LOGUERCIO A, 2021).

No entanto, a presença dessa fase resinosa confere ao CIVMR um caráter significativamente hidrofílico, tornando-o suscetível a sorção de água e a degradação hidrolítica ao longo do tempo. Tal comportamento

pode comprometer a estabilidade dimensional, reduzir a resistência mecânica e favorecer a formação de microtrincas e falhas interfaciais, impactando negativamente a longevidade clínica do material, especialmente em áreas submetidas a maiores cargas funcionais (RÊGO H, 2022; IVANISEVIC A, et.al., 2021).

Nos cimentos de ionômero de vidro modificados por resina, embora a fase resinosa seja polimerizada por fotoativação, proporcionando ganho inicial de resistência e estabilidade dimensional, o processo de maturação não se encerra nesse momento. Paralelamente, à polimerização fotoinduzida, a reação ácido-base característica do sistema vidro–poliácido continua a se desenvolver ao longo do tempo, promovendo formação progressiva da matriz polissal (REIS A e LOGUERCIO A, 2021).

Outrora, mesmo após as primeiras 24 horas, ocorrem ajustes estruturais e químicos que podem se estender por semanas ou meses, influenciando propriedades mecânicas. A interação contínua com água, essencial para a evolução da reação ácido-base, pode favorecer tanto a estabilização da matriz quanto alterações associadas à plastificação da fase resinosa e degradação superficial em situações de embebição prolongada (IVANISEVIC A, et al., 2021).

Considerando a elevada suscetibilidade dos cimentos de ionômero de vidro modificados por resina à sorção de água e à degradação superficial, especialmente durante as fases iniciais de presa e maturação, torna-se fundamental a adoção de métodos de proteção superficial, entendidos como a aplicação de uma camada seladora sobre o material recém-inserido, com a finalidade de isolá-lo temporariamente do meio bucal. A aplicação de sistemas adesivos ou vernizes tem sido proposta com o objetivo de atuar como uma barreira física temporária, reduzindo a permeabilidade à água, prevenindo a lixiviação de componentes e favorecendo o adequado desenvolvimento das propriedades mecânicas do CIVMR. Essas estratégias de proteção apresentam relevância clínica por contribuírem para a estabilidade dimensional, aumento da resistência ao desgaste e melhora da longevidade das restaurações, além de representarem alternativas viáveis em diferentes contextos clínicos, especialmente quando materiais específicos não estão prontamente disponíveis, desde que aplicadas de forma criteriosa e com indicação adequada (LERECH SB, *et al.,* 2021)

Do ponto de vista clínico, o desempenho mecânico dos CIVs e, particularmente, dos CIVMRs é determinante para sua indicação em restaurações submetidas a carga funcional, uma vez que fraturas, perda de material e falhas por integridade estrutural figuram entre desfechos relevantes em avaliações de desempenho em áreas de estresse mastigatório (CRIBARI L, et al., 2023; DURRANT L, et al., 2024). Considerando que, na cavidade oral, tensões trativas podem contribuir para a propagação de trincas e falhas em materiais frágeis, ensaios como a resistência à compressão diametral são frequentemente utilizados como proxies laboratoriais para estimar a susceptibilidade à fratura sob padrões de carregamento clínico (THBAYH KK, et al., 2024; SALEEM M, et al., 2024).

Além disso, revisões recentes indicam que a presença, ou ausência, de estratégias de selamento/proteção superficial pode influenciar propriedades físico-mecânicas de cimentos à base de ionômero, o que reforça a pertinência de investigar esses protocolos quando se busca previsibilidade clínica, sobretudo em restaurações com maior demanda mecânica (ZANGANA TA, et al., 2025).

A comparação entre duas marcas comerciais, três protocolos de proteção superficial e dois períodos de avaliação foi delineada com o intuito de ampliar a compreensão sobre possíveis interações entre composição do material, estratégia de selamento e tempo de maturação, aspectos ainda pouco explorados de forma combinada na literatura. Embora estudos prévios tenham investigado isoladamente o efeito da proteção superficial (ZANGANA TA, et al., 2025) ou do armazenamento sobre propriedades físico-mecânicas de ionômeros (THBAYH KK, et al., 2024), bem como o desempenho clínico desses materiais (CRIBARI L, et al., 2023), há escassez de investigações que analisem simultaneamente a interação entre diferentes marcas comerciais, protocolos de proteção e períodos de maturação.

Destarte, essa abordagem permite fornecer subsídios mais consistentes para a tomada de decisão clínica quanto à seleção do material e do protocolo de proteção, especialmente no período inicial pós-inserção, considerado crítico para o desempenho restaurador.

MÉTODOS

Tipo de estudo e amostra

Trata-se de um estudo in vitro, conduzido nos laboratórios do curso de Odontologia do Centro Universitário Católica de Quixadá (Unicatólica) e, em etapa subsequente, nos laboratórios do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Ceará (UFC). Avaliou-se a resistência à compressão diametral e índice de sorção em água de dois cimentos de ionômero de vidro modificados por resina (CIVMR): *Riva Light Cure* (SDI Limited, Bayswater, Victoria, Australia) e *Gold Light Cured Universal Restorative* (GC Corporation, Tokyo, Japan) em simulação de ambiente oral.

Para cada material, foram confeccionados 30 corpos de prova, totalizando 60 amostras. Os espécimes foram numerados individualmente e submetidos a sorteio aleatório simples para definição da alocação nos grupos experimentais e da ordem de realização do ensaio mecânico. As amostras foram distribuídas segundo delineamento fatorial: 2 × 3 × 2 (material × proteção superficial × tempo) e resultando em 12 grupos experimentais (n=5 por grupo) conforme descrito na **Tabela 1**.

As avaliações foram realizadas em dois períodos experimentais: 24 horas (T1) e 4 meses (T2). Em relação à proteção superficial, estabeleceram-se três condições: sem proteção, aplicação de adesivo odontológico e aplicação de verniz fluoretado. A manipulação dos materiais, o preenchimento dos moldes, a fotoativação e a realização dos ensaios foram conduzidos por operador único, previamente treinado e respeitando as recomendações dos fabricantes, a fim de garantir uniformidade experimental. Para o tempo T2, os corpos de prova foram mantidos imersos em água destilada a 37 °C, em ambiente controlado, simulando condições intra-orais e promovendo o envelhecimento hídrico dos materiais. A execução dos ensaios foi conduzida sob protocolo de cegamento do avaliador em relação à distribuição dos grupos, estratégia adotada para mitigar vieses de aferição e fortalecer a validade interna do estudo.

Tabela 1 - Projeção das amostras do estudo (espécimes).

M1: (N=30) ***Riva Light Cure***			**M2: (N=30)** ***GC Gold Label***		
P1 (N=10) Sem proteção	**P2** (N=10) Adesivo odontológico	**P3** (N=10) Verniz	**P1** (N=10) Sem proteção	**P2** (N=10) Adesivo odontológico	**P3** (N=10) Verniz
T1 (N=5)	**T1** (N=5)	**T1** (N=5)	**T1** (N=5)	**T1** (N=5)	**T1** (N=5)
T2 (N=5)	**T2** (N=5)	**T2** (N=5)	**T2** (N=5)	**T2** (N=5)	**T2** (N=5)

Nota: M = Material; P = Protocolo de proteção superficial; T = Tempo de avaliação. N = total por material = 30 espécimes, distribuídos em três protocolos de proteção (n = 10), subdivididos em dois tempos experimentais (n = 5). **Fonte:** Dos Santos IO, et al., 2026.

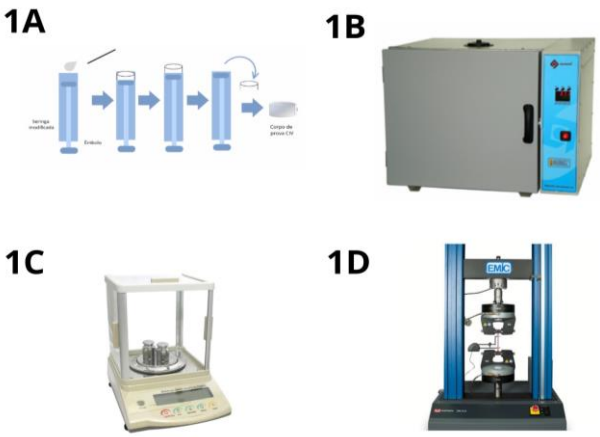
Confecção e preparo dos corpos de prova

Os materiais selecionados para o estudo foram dois cimentos de ionômero de vidro modificados por resina (CIVMR): M1 e M2. Ambos foram preparados conforme as instruções dos fabricantes e fotopolimerizados por 20 segundos. Os cimentos foram proporcionados e espatulados em placa de vidro de 15 mm (Golgran Millennium, São Caetano do Sul, SP, Brasil), com auxílio da espátula nº 24 (Golgran Millennium, São Caetano do Sul, SP, Brasil). O procedimento foi realizado por um único pesquisador previamente treinado e calibrado, com tempo médio entre 2 e 5 minutos, sendo a presa inicial observada entre 5 e 10 minutos (T1), conforme orientação do fabricante. Os espécimes cilíndricos foram produzidos a partir de moldes confeccionados com seringas estéreis de 5 mL (Becton Dickinson S/A, Curitiba, PR, Brasil), com aproximadamente 12 mm de diâmetro interno. O preenchimento foi realizado até 0,4 mL, assegurando padronização volumétrica. A inserção ocorreu em etapa única, com leve vibração manual para minimizar a inclusão de ar. Após a fase inicial de endurecimento e sua fotoativação, os espécimes foram cuidadosamente extrudados com o êmbolo, mantendo a integridade e a uniformidade dimensional. (**Figura 1A**). A confecção dos espécimes foi conduzida

em conformidade com diretrizes internacionais aplicáveis a cimentos odontológicos de presa ácido-base, incluindo a ISO 9917-1 e especificações estabelecidas pela *American Dental Association* (ADA), assegurando padronização metodológica e comparabilidade científica.

Após a confecção, os corpos de prova foram randomicamente distribuídos em três protocolos distintos de proteção superficial, estabelecidos com o objetivo de avaliar a influência do selamento inicial na estabilidade físico-mecânica dos materiais: (1) Ausência de proteção (grupo controle), (2) Aplicação de sistema adesivo universal (Single Bond Universal, 3M, São Caetano do Sul, SP, Brasil), e (3) Aplicação de verniz fluoretado (SS White, São Paulo, SP, Brasil). A adoção desses protocolos fundamenta-se na reconhecida susceptibilidade dos cimentos de ionômero de vidro resinosos em trocas hídricas nas fases iniciais de presa, período no qual a interação com o meio pode impactar a maturação da matriz ácido-base e a formação da rede polimérica resinosa. Dessa forma, a proteção superficial foi empregada como estratégia para modular a difusão de água e investigar seu possível efeito sobre o desempenho mecânico subsequente.

Figura 1 - Fluxograma do protocolo experimental para avaliação da resistência à compressão diametral e análise de sorção dos CIVMR.



Nota: (**A**) Esquema ilustrativo da confecção dos corpos de prova cilíndricos por meio de seringa estéril adaptada como molde padronizado. (**B**) armazenamento dos espécimes em estufa incubadora (Quimis®) visando simular condições térmicas intraorais. (**C**) aferição de massa em balança analítica de alta precisão (Bioprecisa®) para controle dimensional e monitoramento de variações relacionadas à interação hídrica; (**D**) realização do ensaio mecânico de compressão diametral em máquina universal de ensaios (EMIC®). As etapas ilustram, respectivamente, a padronização da confecção, o envelhecimento controlado, a mensuração físico-dimensional e a avaliação do desempenho mecânico.
Fonte: Dos Santos IO, et al., 2026.

Protocolo de envelhecimento hídrico e períodos de avaliação

Para simular as condições orais e o envelhecimento hídrico dos CIVMRs, os espécimes do tempo T2 (4 meses) foram mantidos imersos individualmente em água destilada, acondicionados em tubos plásticos J10 Fepla® (Fepla Ferramentaria Plástica Ltda., São Paulo, SP, Brasil), com diâmetro de 21 mm e altura de 37,5 mm, contendo volume suficiente para cobertura total das amostras. A renovação do meio de armazenamento foi realizada a cada 24 horas nos primeiros 7 dias, período correspondente à maior liberação iônica e maior susceptibilidade às trocas hídricas iniciais e, posteriormente, a cada 7 dias, em intervalos semanais fixos, com substituição realizada sempre no mesmo dia da semana, a fim de evitar saturação e manter condições estáveis ao longo do período experimental.

Os recipientes foram mantidos em estufa QUIMIS® a 37 ± 1 °C (**Figura 1B**), temperatura média que representa o ambiente bucal em repouso, conforme empregado em estudos de envelhecimento de materiais dentários. O envelhecimento em meio aquoso por períodos prolongados é amplamente utilizado em pesquisas com cimentos de ionômero de vidro para investigar modificações progressivas em suas propriedades mecânicas e físico-químicas ao longo do tempo.

Análise da sorção

Os espécimes de CIVMR foram confeccionados de forma padronizada, respeitando dimensões previamente estabelecidas, e submetidos ao processo completo de presa, conforme as recomendações dos fabricantes. Após a presa inicial, realizou-se a primeira pesagem, correspondente à massa inicial (m_1), utilizando balança analítica eletrônica de alta precisão (BIOPRECISA®, BioPrecisa Instrumentos Científicos, Curitiba, PR, Brasil), com precisão de 0,0001 g (**Figura 1C**), obtendo-se o valor de referência da massa inicial dos espécimes.

Posteriormente, os corpos de prova foram armazenados em água destilada a 37±1 °C, sendo novamente pesados após 24 horas (T1) e após 4 meses (T2), utilizando a mesma balança eletrônica. Antes de cada pesagem, os espécimes foram removidos do meio de armazenamento, levemente secos com papel absorvente a fim de remover excesso superficial de água sem interferir na massa do material.

As variações de massa foram registradas com o objetivo de avaliar alterações decorrentes do processo de sorção hídrica (embebição), por meio da comparação entre a massa inicial e as massas obtidas nos períodos experimentais.

Análise da resistência à compressão diametral

Os corpos de prova cilíndricos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão diametral em máquina universal de ensaios Instron 4484 (Instron®, Norwood, MA, EUA) (**Figura 1D**), equipada com célula de carga de 2.000 N, empregando velocidade de deslocamento do atuador de 0,5 mm/min até a ocorrência de fratura. Para a realização do ensaio mecânico, os corpos de prova foram acomodados horizontalmente entre as placas compressivas da própria máquina universal, assegurando que a força incidisse transversalmente ao eixo longitudinal do cilindro. Esse arranjo promove a indução de tensões trativas no plano diametral interno, princípio fundamental do teste de compressão diametral. O correto posicionamento, centralizado e com paralelismo entre as superfícies de contato foi rigorosamente verificado para minimizar artefatos mecânicos decorrentes de excentricidade de carga ou desalinhamento estrutural.

O ponto de fratura foi determinado a partir da ruptura estrutural do espécime, identificada pelo decréscimo súbito da força registrada no sistema de aquisição de dados da máquina de ensaio. A carga máxima suportada até o momento da falha (N) foi utilizada para o cálculo da resistência à compressão diametral (MPa), conforme a expressão matemática $\sigma = 2P/\pi DL$, na qual P representa a carga no instante da fratura, D o diâmetro e L a altura do corpo de prova. O protocolo experimental foi conduzido em conformidade com referenciais normativos internacionais aplicáveis a cimentos odontológicos à base aquosa, incluindo a ISO 9917-1 e a especificação ANSI/ADA nº 96, assegurando rigor metodológico, consistência analítica e comparabilidade com dados previamente reportados na literatura.

Análise dos dados

O controle do ensaio mecânico e o registro das cargas aplicadas foram realizados por meio do software TESC (Simmetro, São José dos Pinhais, PR, Brasil), que gerou valores de resistência à compressão diametral expressos em megapascal (MPa). Os resultados foram descritos por meio de média e desvio-padrão. A normalidade da distribuição dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro–Wilk, e a homogeneidade das variâncias foi avaliada pelo teste de Levene. Atendidos os pressupostos paramétricos, os dados foram submetidos à análise de variância fatorial de três vias (three-way ANOVA), considerando os fatores “material”, “proteção superficial” e “tempo”, bem como suas interações. Quando identificadas diferenças estatisticamente significativas, procedeu-se às comparações múltiplas pelo teste de Tukey. Todas as análises foram conduzidas adotando-se nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

RESULTADOS

Com relação à sorção, a análise estatística evidenciou efeito significativo do tempo de armazenamento, bem como interação entre material e protocolo de proteção superficial. No período de 24 horas, observou-se comportamento dependente da condição de proteção adotada. Nas condições sem proteção (P1) e com aplicação de verniz fluoretado (P3), o material M2 (*Gold Light Cured Universal Restorative*) apresentou valores de sorção superiores aos de M1 (Riva Light Cure). Por outro lado, sob proteção com adesivo odontológico (P2), M1 demonstrou sorção significativamente maior em comparação a M2 ($p < 0,05$).

Após 4 meses de armazenamento, verificou-se redução das diferenças entre os grupos experimentais, não sendo identificadas diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos de proteção superficial para ambos os materiais, indicando estabilização do comportamento higroscópico ao longo do tempo (**Tabela 2, Figura 2**).

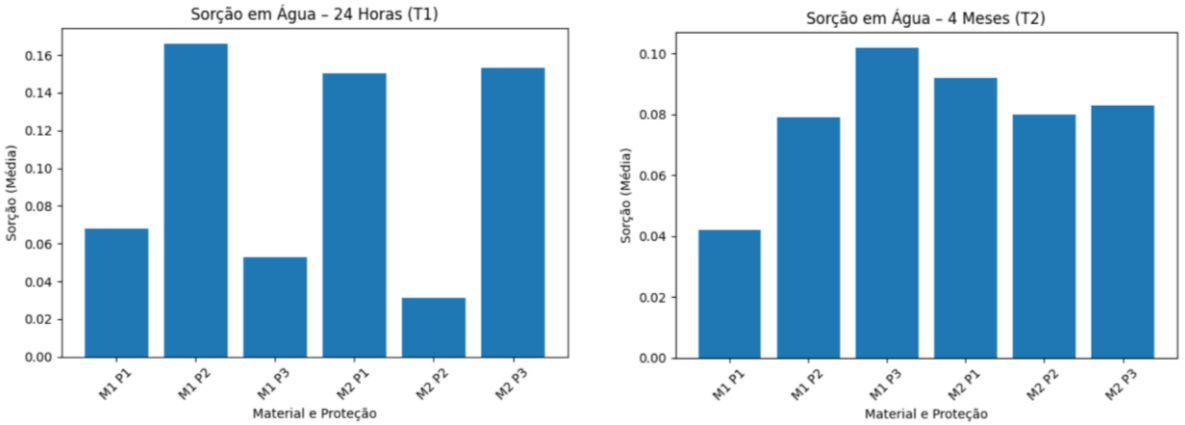
No que se refere à resistência à compressão diametral, não foram observados efeitos significativos do material, do protocolo de proteção superficial ou da interação entre esses fatores ($p > 0,05$). Em ambos os tempos avaliados, os valores médios permaneceram estatisticamente semelhantes entre os grupos, independentemente da condição experimental adotada (**Tabela 3**, **Figura 3**).

Tabela 2 - Sorção em água.

Grupo/arca	Tempo	Proteção	Média ± desvio padrão
M1 *Riva Light Cure*	**T1** (24 horas)	**P1** (Sem proteção)	0,068 ± 0,013[b]
		P2 (Adesivo odontológico)	0,166 ± 0,018[a]
		P3 (Verniz)	0,053 ± 0,019[b]
	T2 (4 meses)	**P1** (sem proteção)	0,042 ± 0,099[a]
		P2 (Adesivo odontológico)	0,079 ± 0,036[a]
		P3 (Verniz)	0,102 ± 0,106[a]
M2 *Gold Light Cured Universal Restorative*	**T1** (24 horas)	**P1** (Sem proteção)	0,150 ± 0,010[a]
		P2 (Adesivo odontológico)	0,031 ± 0,007[b]
		P3 (Verniz)	0,153 ± 0,003[a]
	T2 (4 meses)	**P1** (Sem proteção)	0,092 ± 0,014[a]
		P2 (Adesivo odontológico)	0,080 ± 0,004[a]
		P3 (Verniz)	0,083 ± 0,014[a]

Nota: M = Material; P = Proteção superficial; T = Tempo. Valores expressos em média ± desvio-padrão. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro–Wilk e analisados por meio de análise de variância de três vias (ANOVA three-way), seguida do pós-teste de Tukey, quando aplicável. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatisticamente significativa entre os protocolos de proteção dentro do mesmo material e tempo ($p < 0,05$). **Fonte:** Dos Santos IO, et al., 2026.

Figura 2 - Índices de análise da sorção em água dos CIVMRs nos diferentes tempos experimentais.



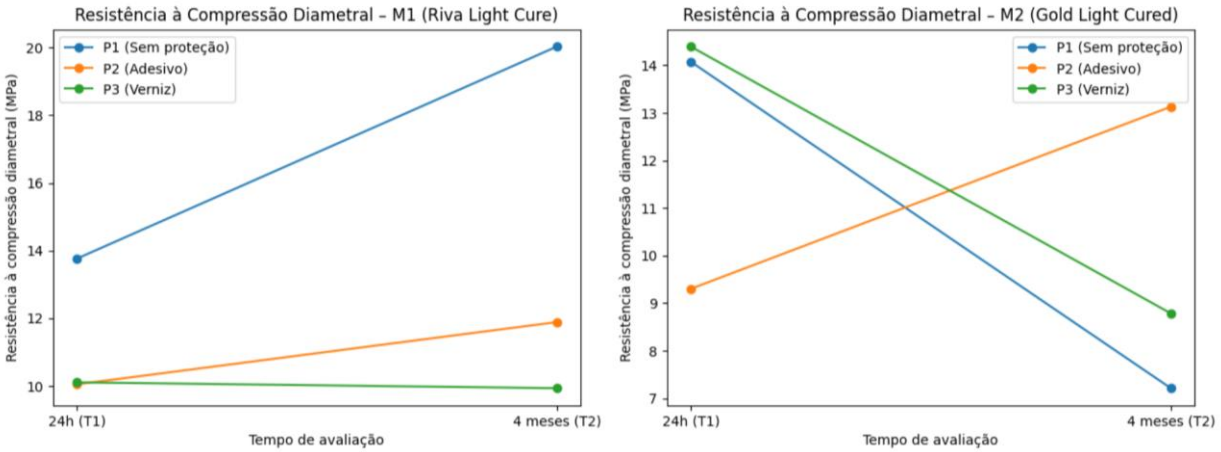
Nota: Gráfico elaborado em Python (versão 3.X) utilizando a biblioteca Matplotlib(The Matplotlib Developmet Team). Licença disponível em: https://matplotlib.org/stable/users/project/license.html Acesso em: 01 mar 2026. **Fonte:** Dos Santos IO, et al., 2026.

Tabela 3 - Resistência à compressão.

Grupo/arca	Tempo	Proteção	Média ± desvio padrão
M1 *Riva Light Cure*	**T1** (24 horas)	**P1** (Sem proteção)	13,762 ± 11,403[a]
		P2 (Adesivo odontológico)	10,054 ± 2,852[a]
		P3 (Verniz)	10,112 ± 1,824[a]
	T2 (4 meses)	**P1** (Sem proteção)	20,022 ± 8,438[a]
		P2 (Adesivo odontológico)	11,890 ± 2,028[a]
		P3 (Verniz)	9,940 ± 1,822[a]
M2 *Gold Light Cured Universal Restorative*	**T1** (24 horas)	**P1** (Sem proteção)	14,076 ± 8,477[a]
		P2 (Adesivo odontológico)	9,302 ± 3,333[a]
		P3 (Verniz)	14,394 ± 5,589[a]
	T2 (4 meses)	**P1** (Sem proteção)	7,214 ±4,303[a]
		P2 (Adesivo odontológico)	13,130 ± 10,386[a]
		P3 (Verniz)	8,786 ± 5,539[a]

Nota: M = Material; P = Proteção superficial; T = Tempo. Valores expressos em média ± desvio-padrão.Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro–Wilk e analisados por meio de análise de variância de três vias (ANOVA three-way), seguida do pós-teste de Tukey, quando aplicável. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença estatisticamente significativa entre os protocolos de proteção dentro do mesmo material e tempo ($p < 0,05$). **Fonte:** Dos Santos IO, et al., 2026.

Figura 3 - Resistência à compressão diametral (MPa) dos CIVMRs nos diferentes tempos experimentais.



Nota: Gráfico elaborado em Python (versão 3.X) utilizando a biblioteca Matplotlib(The Matplotlib Developmet Team). Licença disponível em: https://matplotlib.org/stable/users/project/license.html Acesso em: 01 mar 2026. **Fonte:** Dos Santos IO, et al., 2026.

DISCUSSÃO

Os cimentos de ionômero de vidro passaram por sucessivas melhorias e desenvolvimentos ao longo do tempo. Uma dessas modificações foi a incorporação de componentes resinosos à sua composição, originando os cimentos de ionômero de vidro modificados por resina (CIVMRs), que foram introduzidos no final da década de 1980 (MOBERG J, et al., 2019; REIS A e LOGUERCIO A, 2021). Essa modificação teve como objetivo minimizar limitações observadas nos CIVs convencionais, como elevada sensibilidade inicial à umidade e propriedades mecânicas insatisfatórias, especialmente nas fases iniciais de presa (NOMOTO R e MCCABE JF, 2023). Os CIVMRs mantêm características clínicas favoráveis dos CIVs tradicionais, como adesão química ao substrato dental e liberação de flúor, ao mesmo tempo em que apresentam melhorias relacionadas às propriedades físicas e ao manuseio clínico. Essas melhorias decorrem da incorporação de monômeros hidrofílicos e iniciadores de polimerização, que permitem a ocorrência simultânea da reação ácido-base e da fotopolimerização, contribuindo para maior estabilidade inicial do material (WASSELL M, et al., 2022; GAROUSHI S et al., 2017).

Diversos estudos têm demonstrado desempenho mecânico satisfatório dos CIVMRs. Falsafi S, et al. (2022), ao avaliarem diferentes materiais quanto à tenacidade à fratura, resistência à flexão e resistência à tração diametral, observaram valores superiores para o *Riva Light Cure* quando comparado ao *Gold Light Cured Universal Restorative*, achados corroborados por Lagarde M, et al. (2021). Esses resultados justificam o uso crescente dos CIVMRs em restaurações de dentes posteriores, uma vez que apresentam propriedades mecânicas superiores às dos CIVs convencionais, como maior dureza, resistência ao desgaste e melhor desempenho sob carga funcional (FALSAFI S, et al., 2022, KASRAEI S, et al., 2022).

A contribuição dos componentes resinosos presentes nos CIVMRs tem sido associada a propriedades mecânicas aprimoradas, maior tempo de trabalho e menor sensibilidade inicial à umidade, além de resultados estéticos satisfatórios decorrentes da maior translucidez desses materiais (LAGARDE M, et al., 2021). Ademais, estes cimentos apresentam maior capacidade de deformação plástica sob carga, o que pode contribuir para o aumento da tenacidade à fratura (FALSAFI S, et al., 2022). No presente estudo, entretanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na resistência à compressão entre os materiais avaliados, os protocolos de proteção superficial ou os tempos de armazenamento, indicando desempenho mecânico semelhante entre os CIVMRs analisados.

Resultados semelhantes foram relatados por Rêgo H, et al. (2022), que não observaram diferenças significativas na tenacidade à fratura e na resistência à flexão de CIVMRs como *GC Fuji II LC®*, *Ketac™ Nano* e *Riva Light Cure* após uma semana e um mês de armazenamento. De forma semelhante, Ivica A, et al. (2024) relataram ausência de diferenças significativas nas propriedades mecânicas, incluindo resistência à compressão e resistência à tração diametral, entre diferentes CIVMRs. Esses achados reforçam que, embora diferenças composicionais existam entre os materiais, tais variações nem sempre se traduzem em diferenças mecânicas estatisticamente significativas, especialmente após períodos de maturação (SIQUEIRA C, et al., 2022)

Apesar do bom desempenho mecânico, uma limitação inerente aos CIVMRs está relacionada à natureza hidrofílica do poli-hidroxietilmetacrilato (HEMA), que favorece a absorção de água, podendo resultar em plasticidade e expansão higroscópica do material. A sorção de água pode atuar como agente plastificante, afetando propriedades físicas, químicas e mecânicas ao longo do tempo (BERIAT N, et al., 2009). Assim, os períodos de armazenamento de 24 horas e 4 meses utilizados neste estudo tiveram como objetivo simular a exposição ao meio bucal e avaliar a influência do envelhecimento hídrico sobre o comportamento dos materiais. Os resultados evidenciaram que a sorção em água foi significativamente influenciada pelo tempo de armazenamento e pelo protocolo de proteção superficial, particularmente nas primeiras 24 horas, período crítico para a maturação dos CIVMRs. Observou-se comportamento dependente do material, uma vez que, nas condições sem proteção e com verniz, o *Gold Light Cured Universal Restorative* apresentou maiores valores de sorção em comparação ao *Riva Light Cure*. Em contraste, sob aplicação de adesivo odontológico, verificou-se inversão desse padrão, com aumento da sorção para o *Riva Light Cure* e redução para o *Gold Light Cured Universal Restorative.*

Esse comportamento sugere que a interação entre a camada adesiva e a matriz híbrida dos CIVMRs pode variar conforme a composição específica de cada material, especialmente no que se refere ao teor de monômeros hidrofílicos, densidade de reticulação da fase resinosa e dinâmica de difusão hídrica. A presença do adesivo pode atuar como barreira física à troca de água ou, alternativamente, favorecer retenção hídrica superficial, dependendo da compatibilidade química com a matriz do cimento. Após 4 meses de armazenamento, a ausência de diferenças estatisticamente significativas indica que os efeitos observados no período inicial são predominantemente transitórios e relacionados à fase inicial de maturação. Com o avanço do tempo, ocorre progressiva estabilização da matriz polissal e estabelecimento de equilíbrio hídrico, reduzindo as discrepâncias entre os protocolos de proteção superficial, conforme descrito previamente na literatura (ARATANI M, et al., 2005).

Sob a perspectiva clínica, os achados sugerem que, embora a resistência à compressão diametral não tenha sido significativamente influenciada pelos protocolos de proteção superficial ou pelo tempo de armazenamento, o comportamento inicial de sorção observado nas primeiras 24 horas merece atenção,

especialmente em situações nas quais o material é submetido precocemente a desafios mecânicos ou ambientais. A maior susceptibilidade à interação hídrica no período inicial pode justificar cautela na indicação de CIVMRs em áreas de elevado estresse mastigatório ou em restaurações extensas, nas quais a estabilidade inicial é determinante para o desempenho clínico. Além disso, a seleção do protocolo de proteção superficial e o respeito ao tempo adequado de maturação do material podem contribuir para melhor equilíbrio hídrico e estabilidade estrutural, favorecendo a longevidade restauradora.

Embora os estudos in vitro sejam essenciais para elucidar o comportamento físico-mecânico dos materiais restauradores sob condições controladas, determinadas limitações inerentes ao modelo experimental devem ser reconhecidas. O armazenamento estático em meio aquoso não reproduz integralmente os desafios clínicos, como variações de pH, flutuações térmicas, estresse mastigatório cíclico e degradação por fadiga, fatores que podem influenciar a dinâmica de sorção e o desempenho mecânico ao longo do tempo (IVANISEVI A, et al., 2021). Adicionalmente, a ausência de biofilme e de desafios químicos intermitentes limita a extrapolação direta dos resultados para o ambiente bucal. Dessa forma, investigações clínicas longitudinais conduzidas são necessárias para determinar se as diferenças iniciais observadas na interação hídrica possuem relevância no desempenho clínico e na longevidade das restaurações com CIVMRs.

CONCLUSÃO

Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na resistência à compressão diametral entre os materiais avaliados, os protocolos de proteção superficial ou os tempos de armazenamento. Em relação à sorção em água, verificou-se influência do tempo e do protocolo de proteção superficial, com comportamento dependente do material no período de 24 horas. Nessa condição, a aplicação de adesivo odontológico aumentou a sorção para o *Riva Light Cure* (M1) e reduziu para o *Gold Light Cured Universal Restorative* (M2). Após 4 meses de armazenamento, os valores de sorção tornaram-se estatisticamente semelhantes entre os grupos, indicando estabilização da interação hídrica ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

1. ARATANI M, et al. Resistência à compressão do material restaurador de ionômero de vidro modificado por resina: efeito da relação P/L e tempo de armazenamento. Journal of Applied Oral Science, 2005; 13(4): 356–359.
2. CRIBARI L, et al. High-viscosity glass-ionomer cement or composite resin for restorations in posterior permanent teeth? A systematic review and meta-analyses. Journal of Dentistry, 2023; 137: 104629.
3. DURRANT L, et al. Desempenho clínico do cimento ionômero de vidro em restaurações estruturais: uma revisão sistemática. Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research, 2024; 30: e943489.
4. FALSAFI S, et al. Mecanismos de reação de configuração e comportamento interfacial de um ionômero de vidro modificado com resina nanopreenchida. Dental Materials, 2022; 30(6): 632–643.
5. GAROUSHI S, et al. Fibras de vidro ocas no reforço de cimentos de ionômero de vidro. Dental Materials, 2017; 33(2): e86–e93.
6. IVANISEVIC A, et al. Influence of water storage on the mechanical properties of resin-modified glass ionomer cements. European Journal of Dentistry, 2021.
7. IVICA A, et al. Mechanical Properties and Ion Release from Fibre-Reinforced Glass Ionomer Cement. Polymers, 2024; 16: 607.
8. KASRAEI S, et al. Comparativo da resistência à flexão, dureza e liberação de flúor de dois materiais restauradores bioativos com RMGI e resina composta. Revista Brasileira de Ciências Orais, 2022; 21: e225263.
9. LAGARDE M, et al. Propriedades mecânicas estruturais e de longo prazo de um cimento de ionômero de vidro modificado por resina após vários atrasos na ativação da luz. Dental Materials Journal, 2021; 37(6): 874–879.

10. LERECH SB, et al. Compressive strength of glass ionomer and composite resin. In vitro study. Revista Odontológica Mexicana, 2017; 21(2): 107–111.
11. LISBOA G, et al. Desempenho mecânico de um cimento de ionômero de vidro convencional variando a proporção pó/líquido. Revista Pró-UniverSUS, 2025; 16(2): 179–185.
12. MOBERG J, et al. Physical property investigation of contemporary glass ionomer and resin-modified glass ionomer restorative materials. Clinical Oral Investigations, 2019; 23(3): 1295–1308.
13. NOMOTO R, MCCABE JF. Effect of mixing methods on the compressive strength of glass ionomer cements. Journal of Dentistry, 2001; 29(3): 205–210.
14. REIS A, LOGUERCIO A. Materiais Dentários Diretos: dos fundamentos à aplicação clínica. 2 ed. Rio de Janeiro: Santos (Editora Guanabara-Koogan), 2021; 464p.
15. RÊGO H, et al. Avaliação das Propriedades Mecânicas de Três Materiais Ionômeros de Vidro Modificados por Resina. BioMed Research International, 2022; 2022.
16. SALEEM M, et al. Mechanical performance and fracture behavior of contemporary restorative materials: an in vitro evaluation. Scientific Reports, 2024; 14.
17. SIQUEIRA C, et al. Avaliação da sorção e solubilidade de água em cimentos de ionômero de vidro com e sem agente de proteção. Revista Científica do CRO-RJ (Rio de Janeiro Dental Journal), 2022; 7(1): 31–39.
18. THBAYH KK, et al. Fabrication and characterization of novel glass-ionomer cement prepared from oyster shells. Scientific Reports, 2024; 14: 24083.
19. WASSEL M, et al. Efeito antibacteriano, liberação de flúor e resistência à compressão de um ionômero de vidro contendo nanopartículas de prata e titânio. Indian Journal of Dental Research, 2022; 33(1): 75.
20. ZANGANA TA, et al. The impact of resin coatings on the properties and performance of glass ionomer cements: a systematic review. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2025; 169: 107044.