

Efeito do condicionamento dentinário com ácido fítico na resistência de restaurações adesivas e morfologia da superfície condicionada.

Palavras-chave: Ácido Fítico. Adesão. Dentina. Resistência. Condicionamento Ácido Dentinário.

Autores(as):

Luisa Bittencourt de Souza, FOP- UNICAMP

Caroline Campos Lacaia (co-orientadora), FOP- UNICAMP

Luiza Mota Lima Verde (co-orientadora), FOP- UNICAMP

Dr^a. Simone Gomes de Oliveira (co-orientadora), FOP- UNICAMP

Prof. Dr^o. Flávio Henrique Baggio Aguiar (orientador), FOP- UNICAMP

INTRODUÇÃO

O ácido fosfórico (AF) a 35% é amplamente utilizado como condicionante dentinário em protocolos adesivos. Embora eficaz na remoção da smear layer, sua aplicação resulta em desmineralização profunda e ativação de metaloproteinases (MMPs), o que pode comprometer a estabilidade da interface adesiva e favorecer falhas clínicas precoces (Sahadi et al., 2024). Nesse contexto, cresce o interesse por alternativas menos agressivas e bioativas, como o ácido fítico (IP6).

O IP6 tem se destacado por sua ação quelante de íons cálcio, inibição de MMPs e potencial para preservar a integridade da matriz colagênica (Salma et al., 2024; Forgione et al., 2023). Dentre as concentrações avaliadas, o IP6 a 50% apresenta pKa semelhante ao do AF ($\approx 2,1$), justificando sua seleção como agente experimental para análise de desempenho adesivo (Nassar et al., 2023; Deniz et al., 2019). Este estudo avaliou a resistência de união por microtração e o padrão de fratura após condicionamento dentinário com IP6, adotando como hipótese nula a ausência de diferença significativa em relação ao AF 35%. Também foram analisados os efeitos de diferentes concentrações, tempos de aplicação e associação ao citrato de sódio sobre a morfologia da superfície condicionada.

METODOLOGIA:

1. Obtenção e Preparo das Amostras e Delineamento Experimental

Após aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE nº 83609124.0.0000.5418), foram obtidos 73 terceiros molares humanos, extraídos por indicação ortodôntica ou periodontal, os quais foram armazenados em água destilada sob refrigeração (4 °C) até o preparo experimental. A porção coronária do esmalte foi seccionada a 2 mm abaixo da face oclusal com disco diamantado em cortadeira metalográfica (IsoMet 1000, Buehler, IL, Estados Unidos), e a superfície dentinária foi regularizada com lixa de carbetto de silício em politriz giratória (Aropol IE, Arotec, Cotia, SP, Brasil).

O delineamento metodológico do estudo compreendeu duas abordagens complementares. A primeira abordagem consistiu na comparação da resistência de união à dentina promovida pelo condicionamento com AF a 35%, considerado padrão ouro, e pelo IP6 a 50%, por apresentar potencial ácido equivalente ($pK_a \sim 2,1$). Ambas as condições foram avaliadas com e sem

envelhecimento artificial, por meio de ensaio de microtração e análise do padrão de falha. A segunda abordagem, teve como objetivo caracterizar morfologicamente a superfície dentinária condicionada com IP6 em diferentes concentrações (0,5%, 1%, 2%, 3% e 50%), tempos de aplicação (15 e 30 segundos) e com ou sem associação ao citrato de sódio a 10%, utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV).

As amostras destinadas ao ensaio de microtração ($n = 10$) foram tratadas da seguinte forma: (1) aplicação ativa do adesivo Adper™ Single Bond 2 (3M ESPE, MN, Estados Unidos), seguida de jato de ar leve e fotoativação por 20 segundos (Valo, Ultradent, South Jordan, EUA); e (2) confecção de restauração com resina composta nanohíbrida Filtek™ Z250 XT (3M, St. Paul, MN, Estados Unidos), aplicada incrementalmente até 4 mm de altura, com fotoativação de cada incremento conforme as instruções do fabricante. Já as amostras destinadas à análise morfológica ($n = 3$) foram condicionadas com AF 35% (controle) ou com IP6 nos diferentes protocolos experimentais mencionados.

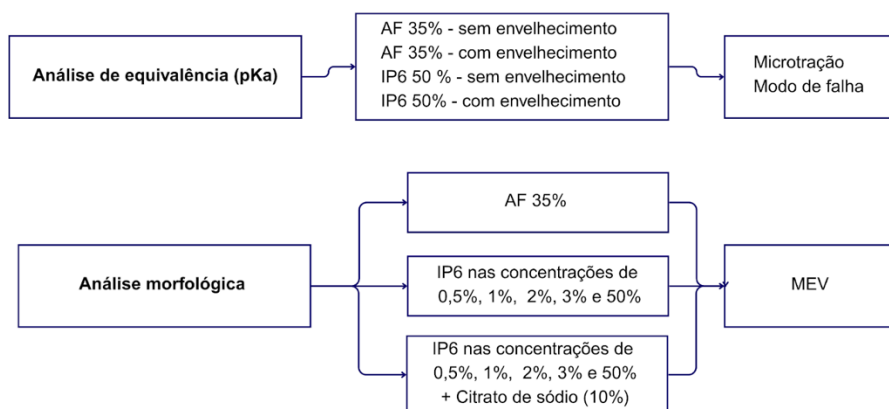


Figura 1: Delineamento experimental

2. Envelhecimento térmico-mecânico

As amostras foram submetidas a 3.000 ciclos de ciclagem térmica (MSCT-3, Elquip, São Carlos, SP, Brasil), com banhos alternados entre 5 °C e 55 °C, tempo de imersão de 30 segundos e tempo de transferência de 5 segundos entre os banhos. Em seguida, foram submetidas a 300.000 ciclos de ciclagem mecânica (TD502-Incon, Elquip, São Carlos, SP, Brasil), simulando a carga oclusal funcional ao longo do tempo.

3. Ensaio de microtração

Utilizando a cortadeira metalográfica, a porção radicular das amostras foi removida, e foram realizados cortes nos sentidos vestibulo-lingual e mésio-distal, originando palitos com dimensões de 1,0 mm × 1,0 mm. Os espécimes foram submetidos ao ensaio de microtração em máquina universal de ensaios (EZ Test L, Shimadzu, Japão), com célula de carga de 500 N e velocidade de 0,5 mm/min, até o ponto de ruptura. O valor da força máxima (em N) foi registrado e convertido em MPa.

4. Análise do modo de falha

As superfícies fraturadas dos palitos de cada grupo experimental foram analisadas em lupa estereoscópica (MZ7.5, Leica Microsystems, Wetzlar, Alemanha), e os padrões de falha foram classificados em quatro categorias: falha coesiva em dentina; falha coesiva em resina; falha adesiva e falha mista.

5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para a análise morfológica da superfície dentinária, as amostras foram fixadas em *stubs* metálicos e analisadas em MEV (JSM 5600LV, JEOL, Tóquio, Japão), com ampliações de 500X e 1.000X, visando à avaliação da remoção da *smear layer*, exposição e abertura dos túbulos dentinários e presença de resíduos superficiais.

6. Análise estatística

Inicialmente, foram avaliadas a normalidade e a homogeneidade de variâncias por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Como os dados apresentaram distribuição paramétrica, foi realizado o teste ANOVA *two-way* para comparação entre os grupos, seguido do teste de Tukey para análise *post hoc*. Todas as análises estatísticas foram conduzidas no software R, adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Neste estudo, investigaram-se os efeitos de diferentes concentrações de IP6 como agente condicionante da dentina, com foco em sua eficácia diante da degradação da interface adesiva e do envelhecimento acelerado.

A análise estatística indicou que o envelhecimento reduziu significativamente a resistência de união, independentemente do agente condicionante utilizado ($p = 0,0257$), revelando que a degradação hidrolítica e enzimática da interface segue como um desafio persistente, mesmo diante de alternativas ao ácido fosfórico (Cadenaro et al., 2023). Ainda assim, o IP6 50% apresentou desempenho equivalente ao AF 35% ($p = 0,2725$), sugerindo que, em altas concentrações, é capaz de promover desmineralização eficaz sem comprometer, a curto prazo, a integridade adesiva.

Além disso, não houve interação significativa entre os fatores “condicionamento” e “envelhecimento” ($p = 0,9182$), o que indica que os efeitos do envelhecimento incidem de forma independente sobre os diferentes protocolos testados. Esses achados reforçam o potencial do IP6 a 50% como alternativa ao ácido fosfórico, considerando sua ação efetiva, de biocompatibilidade e com menor agressividade à dentina (Salma et al., 2024; Betancourt, 2019). Ainda assim, a vulnerabilidade da interface diante do envelhecimento reforça a necessidade de estudos que explorem sua estabilidade a longo prazo.

Tabela 1 – Resultados do teste ANOVA

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)	Critical F
Envelhecimento:	328,103	1	328,103	5,425.	0,0257	4,121
Agente:	75,1514	1	75,1514	1,243.	0,2725	4,121
Interaction:	0,646852	1	0,646852	0,0107.	0,9182	4,121
Within:	2116,61	35	60,4745			
Total:	2529,06	38				

A análise dos padrões de fratura indicou que o condicionamento com AF 35% resultou inicialmente em predominância de falhas adesivas e coesivas em resina. Após o envelhecimento, observou-se aumento das falhas mistas, sugerindo degradação interfacial, possivelmente relacionada à exposição do colágeno e ativação de MMPs. O grupo condicionado com IP6 50% apresentou perfil semelhante, com maior proporção de falhas mistas mesmo antes do envelhecimento, o que aponta para uma interface mais estável desde o início (Gráfico 1). Esse comportamento pode ser atribuído ao caráter quelante e menos agressivo do IP6 que, em pH equivalente ao do AF 35% ($pK_a \sim 2,1$), promove desmineralização eficaz sem comprometer a integridade da matriz colagênica (Forgione et al., 2023; Deniz et al., 2019; Nassar et al., 2013). A semelhança nos padrões de fratura entre os grupos, mesmo após envelhecimento, reforça o potencial do IP6 como alternativa ao AF em protocolos adesivos.

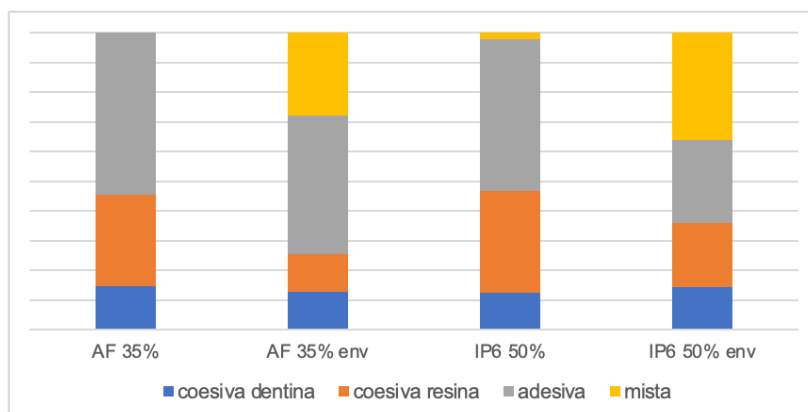


Gráfico 1 – Modo de falha

A avaliação morfológica das superfícies condicionadas revelou que o aumento da concentração de IP6 favoreceu a exposição dos túbulos dentinários e a remoção da *smear layer*, especialmente nos grupos de 3% e 50%, cujos padrões se aproximaram daqueles observados com o AF 35%. Esses achados se assemelham com os obtidos por Attia e colaboradores (2022), que evidenciaram o potencial do IP6 em promover uma desmineralização eficiente, sem comprometer a integridade da dentina. Além disso, o uso do citrato de sódio como irrigante mostrou-se benéfico, conferindo maior homogeneidade às superfícies e reduzindo a presença de resíduos orgânico-minerais. Essa observação é compatível com os resultados de Bumalee e colaboradores (2023), que apontam o citrato como um agente eficaz na remoção de depósitos cálcicos, favorecendo um substrato mais limpo e receptivo à adesão. Como destacado por Anastasiadis e colaboradores (2024), abordagens alternativas ao condicionamento com ácido fosfórico podem oferecer vantagens ao preservar estruturas colagênicas e modular a rugosidade dentinária. Nesse sentido, os resultados obtidos neste estudo sugerem que o IP6, especialmente em concentrações mais elevadas e quando associado ao citrato de sódio, representa uma estratégia promissora para o preparo do substrato dentinário em restaurações adesivas.

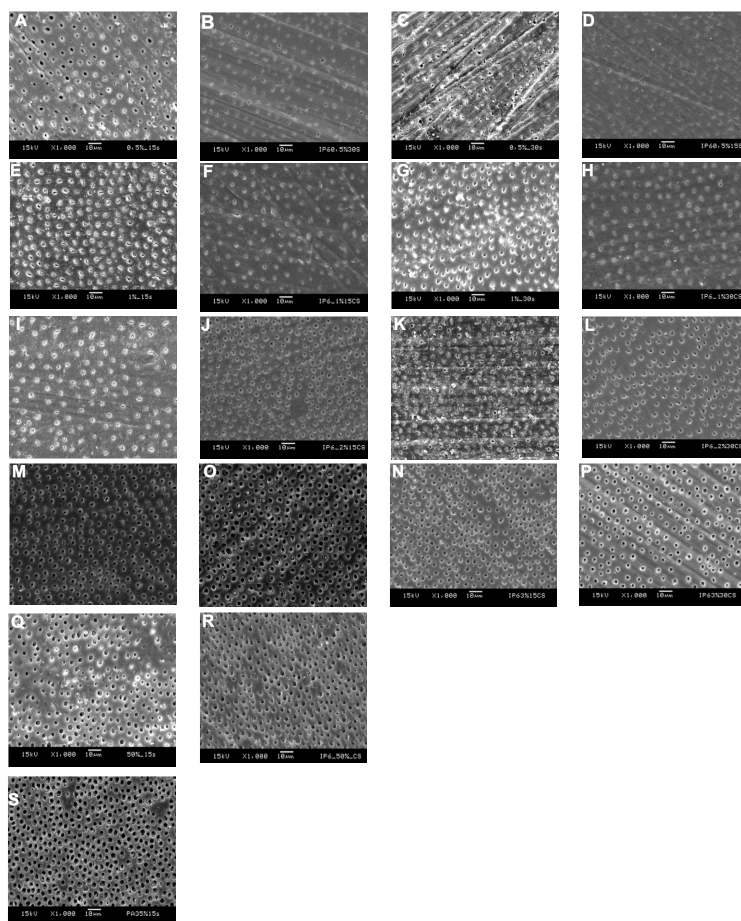


Figura 2. Morfologia da superfície dentinária após condicionamento com ácido fítico (IP6) nas concentrações de 0,5% (A-D), 1% (E-H), 2% (I-L), 3% (M-P) e 50% (Q-R), e com ácido fosfórico a 35% (S, grupo controle), observada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). As linhas correspondem às diferentes concentrações aplicadas, enquanto as colunas refletem o tempo de condicionamento (15 ou 30 segundos) e o agente de irrigação utilizado (água destilada ou citrato de sódio a 10%). A primeira coluna (A, E, I, M, Q, S) representa amostras tratadas por 15 segundos e irrigadas com água; a segunda (B, F, J, O, R), 15 segundos com irrigação por citrato de sódio a 10%; a terceira (C, G, K, N), 30 segundos com água; e a quarta (D, H, L, P), 30 segundos com citrato de sódio a 10%.

CONCLUSÕES:

Os resultados deste estudo indicam que o ácido fítico (IP6), em concentração de 50%, apresenta desempenho adesivo comparável ao do ácido fosfórico a 35%, padrão-ouro para condicionamento dentinário. Essa similaridade se manteve mesmo após o envelhecimento acelerado, reforçando o potencial do IP6 como alternativa viável nos protocolos restauradores.

Do ponto de vista morfológico, observou-se que concentrações mais elevadas de IP6, especialmente quando associadas ao citrato de sódio como agente irrigante, favorecem a remoção da *smear layer* e a abertura dos túbulos dentinários, contribuindo para uma superfície mais adequada à adesão.

No entanto, a redução da resistência de união após o envelhecimento, independentemente do condicionamento utilizado, evidencia a persistência de zonas vulneráveis na interface adesiva e aponta para a necessidade de estratégias adicionais que promovam maior estabilidade a longo prazo.

BIBLIOGRAFIA

- ANASTASIADIS, A. G. et al. Evaluation of dentin surface topography and roughness after alternative conditioning protocols: A SEM and profilometry study. *Dental Research Journal*, v. 21, n. 1, p. 1–8, 2024. (inserida conforme citação no texto)
- ATTIA, A. M.; ABO-ELEZZ, A. F.; SAFY, R. K. Effect of phytic acid on bond strength and interfacial integrity of universal adhesive to deep dentin. *Brazilian Dental Journal*, v. 33, n. 5, p. 116–125, set./out. 2022. DOI: 10.1590/0103-6440202204810.
- BETANCOURT, D. E.; BALDION, P. A.; CASTELLANOS, J. E. Resin-dentin bonding interface: mechanisms of degradation and strategies for stabilization of the hybrid layer. *International Journal of Biomaterials*, v. 2019, p. 1–11, 3 fev. 2019.
- BUMALEE, D. et al. Qualitative histological evaluation of various decalcifying agents on human dental tissue. *European Journal of Dentistry*, v. 17, n. 3, p. 818–822, jul. 2023.
- CADENARO, M. et al. Progress in dental adhesive materials. *Journal of Dental Research*, v. 102, n. 3, p. 254–262, mar. 2023.
- DENIZ SUNGUR, D. et al. Effect of dentine conditioning with phytic acid or etidronic acid on growth factor release, dental pulp stem cell migration and viability. *International Endodontic Journal*, v. 52, n. 6, p. 838–846, jun. 2019.
- FALCON AGUILAR, M. et al. Effect of phytic acid etching and airborne-particle abrasion treatment on the resin bond strength. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*, v. 16, p. 191–199, 2024.
- FORGIONE, D. et al. Effect of phytic acid on dentinal collagen solubilization and its binding and debinding potentials to dentin. *Journal of Dentistry*, v. 128, p. 104361, jan. 2023.
- NASSAR, R. et al. Phytic acid demonstrates rapid antibiofilm activity and inhibits biofilm formation when used as a surface conditioning agent. *Microbiology Spectrum*, v. 11, n. 3, p. e00267-23, 15 jun. 2023.
- SAHADI, B. O. et al. Effect of experimental dentin etchants on dentin bond strength, metalloproteinase inhibition, and antibiofilm activity. *Dental Materials*, v. 40, n. 4, p. e12–e23, abr. 2024.
- SALMA, U. et al. Oracle of phytic acid in dental panacea—Insight into properties, therapeutic effect, regeneration, materials interaction and oral physiology. *The Saudi Dental Journal*, v. 36, n. 8, p. 1093–1096, 2024.