

# Qualidade da camada híbrida dos adesivos universais: uma revisão sistemática da literatura

Hybrid layer quality of universal adhesives: a systematic literature review

Calidad de capa híbrida de adhesivos universales: una revisión sistemática de la literatura

Recebido: 17/04/2023 | Revisado: 29/04/2023 | Aceitado: 02/05/2023 | Publicado: 06/05/2023

**Marlon Rosin**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2430-9347>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: marlon.rosin@hotmail.com

**Veridiana Camilotti**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3004-3939>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: vericamilotti@hotmail.com

**Márcio José Mendonça**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6953-7135>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: dr.mendonca@uol.com.br

**Julio Katuhide Ueda**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8664-942X>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: julioueda2020@gmail.com

## Resumo

Atualmente, a disponibilidade de uma ampla variedade de adesivos universais torna difícil aos clínicos escolher o sistema correto para diferentes situações de adesão ao substrato dentinário. Este trabalho apresenta uma revisão sistemática que avaliou a qualidade da camada híbrida criada pelas diferentes estratégias de aplicação de sistemas adesivos universais, no modo autocondicionante e no modo de condicionamento e lavagem, com o objetivo de investigar se as diferenças observadas na camada híbrida são significativas para a prática clínica. Assim, dois revisores realizaram uma pesquisa bibliográfica até dezembro de 2022 na base de dados eletrônicos PubMed (MedLine). Apenas estudos *in vitro* que avaliaram a qualidade da camada híbrida por meio de microscopia confocal de varredura a laser e que relataram o efeito do uso dos adesivos universais na qualidade da camada híbrida da dentina foram incluídos. Verificou-se que o modo de aplicação dos adesivos universais influencia na qualidade da camada híbrida. Os adesivos aplicados no modo condicionamento e lavagem apresentam a camada híbrida mais espessa e com maiores prolongamentos nos túbulos dentinários. Entretanto, adesivos universais autocondicionantes demonstram uma maior longevidade devido à sua interface resina-dentina ser mais resistente ao envelhecimento associado ao fato de que estudos demonstram que uma abordagem de condicionamento prévio à aplicação do sistema adesivo não melhora a resistência de união. A partir desses resultados podemos concluir que a abordagem autocondicionante consiste na opção mais vantajosa para aplicação em dentina, uma vez que proporciona maior longevidade, menor possibilidade de nanoinfiltração e degradação da camada híbrida com o envelhecimento.

**Palavras-chave:** Adesivos dentinários; Camada híbrida; Microscopia confocal de varredura a laser.

## Abstract

Currently, the availability of a wide variety of universal adhesives makes it difficult for clinicians to choose the correct system for different bonding situations to the dentin substrate. This work presents a systematic review that evaluated the quality of the hybrid layer created by different application strategies of universal adhesive systems, in both self-etching and etching-and-rinsing modes, with the aim of investigating whether the differences observed in the hybrid layer are significant for clinical practice. Two reviewers conducted a bibliographic search until December 2022 in the PubMed (MedLine) electronic database. Only *in vitro* studies that evaluated the quality of the hybrid layer using confocal laser scanning microscopy and that reported the effect of using universal adhesives on the quality of the dentin hybrid layer were included. It was found that the application mode of universal adhesives influences the quality of the hybrid layer. Adhesives applied in etching-and-rinsing mode present a thicker hybrid layer with greater extensions in dentinal tubules. However, self-etching adhesives demonstrate greater longevity due to their resin-dentin interface being more resistant to aging and studies show that an etching approach prior to adhesive system application does not improve bond strength. Based on these results, we can conclude that the self-etching approach is the most

advantageous option for application in dentin, as it provides greater longevity and less possibility of nanoleakage and degradation of the hybrid layer with aging.

**Keywords:** Dentin-bonding agents; Hybrid layer; Confocal laser scanning microscopy.

### Resumen

Actualmente, la disponibilidad de una amplia variedad de adhesivos universales dificulta que los dentistas elijan el sistema correcto para diferentes situaciones de unión al sustrato de dentina. Este trabajo presenta una revisión sistemática que evaluó la calidad de la capa híbrida creada por las diferentes estrategias de aplicación de los sistemas adhesivos universales, en la modalidad de autograbado y en la modalidad de acondicionamiento y lavado, con el objetivo de investigar si las diferencias observadas en la capa híbrida son importantes para la práctica clínica. Así, dos revisores realizaron una búsqueda bibliográfica hasta diciembre de 2022 en la base de datos electrónica PubMed (MedLine). Solo se incluyeron estudios *in vitro* que evaluaron la calidad de la capa híbrida mediante microscopía confocal de barrido láser y que informaron el efecto del uso de adhesivos universales en la calidad de la capa híbrida de dentina. Se encontró que la forma de aplicar los adhesivos universales influye en la calidad de la capa híbrida. Los adhesivos aplicados en la modalidad de grabado y lavado presentan la capa híbrida más gruesa y con mayores extensiones en los túbulos dentinarios. Sin embargo, los adhesivos autograbadores demuestran una mayor longevidad debido a que su interfaz resina-dentina es más resistente al envejecimiento y los estudios muestran que un enfoque de grabado antes de la aplicación del sistema adhesivo no mejora la resistencia de unión. Con base en estos resultados, podemos concluir que el enfoque autograbador es la opción más ventajosa para aplicar en dentina, ya que brinda mayor longevidad y menor posibilidad de nanofiltración y degradación de la capa híbrida con el envejecimiento.

**Palabras clave:** Recubrimientos dentinarios; Capa híbrida; Microscopía de barrido láser confocal.

## 1. Introdução

A odontologia adesiva atual está focada em melhorar não apenas a longevidade das restaurações, mas também em simplificar os procedimentos operatórios. Nesse contexto, os adesivos universais foram introduzidos como uma alternativa prática que permite ao operador escolher o modo de uso: condicionamento e lavagem ou autocondicionamento, de acordo com sua preferência (Stape et al. 2021; Stape et al. 2022). Isso é possível não apenas pela presença de monômeros específicos, como o metacriloiloxidecil di-hidrogênio fosfato (MDP), que é capaz de criar uma forte ligação com os íons de cálcio presentes na hidroxiapatita, mas também pelo fato de seu pH ser mais suave (Maciel Pires et al. 2022).

O modo de condicionamento e lavagem consiste em desmineralizar previamente a dentina com ácido fosfórico para expor as fibras colágenas e permitir a infiltração da resina. Já o modo autocondicionante elimina a necessidade de usar ácido fosfórico para condicionar a dentina (Leite et al. 2018). Estudos recentes apresentam resultados conflitantes sobre qual é o melhor método de condicionamento dentário (Stape et al. 2022; Maciel Pires et al. 2022). Tecnicamente, os sistemas adesivos autocondicionantes são superiores aos de condicionamento e lavagem por reduzirem os erros clínicos durante o condicionamento. No entanto, eles não são tão eficientes quanto o condicionamento prévio com ácido fosfórico em termos de profundidade de penetração nos túbulos dentinários (Kanniappan et al. 2022).

Embora os adesivos universais apresentem resultados promissores, a degradação da camada híbrida ao longo do tempo ainda é motivo de preocupação, especialmente quando esses adesivos são aplicados no modo de condicionamento e lavagem. Acredita-se que a presença de compostos hidrofílicos na composição dos adesivos e a infiltração monomérica incompleta nas fibrilas de colágeno condicionadas contribuam para a diminuição do desempenho adesivo ao longo do tempo (Maciel Pires et al. 2022).

Uma das consequências dessa degradação é o surgimento de cáries secundárias, que representam uma parcela significativa das substituições de restaurações e resultam em perda adicional e desnecessária da estrutura dentária. Para superar esse desafio, empresas estão desenvolvendo novas formulações com o objetivo de melhorar a adesão de longo prazo. Essas formulações incluem a adição de monômeros mais suaves, compostos poliméricos menos hidrofílicos e otimização na mistura de solventes (Maciel Pires et al. 2022).

No entanto, ainda não se sabe completamente como os sistemas adesivos universais se comportam nos modos autocondicionante e condicionamento e lavagem. O objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade da camada híbrida formada

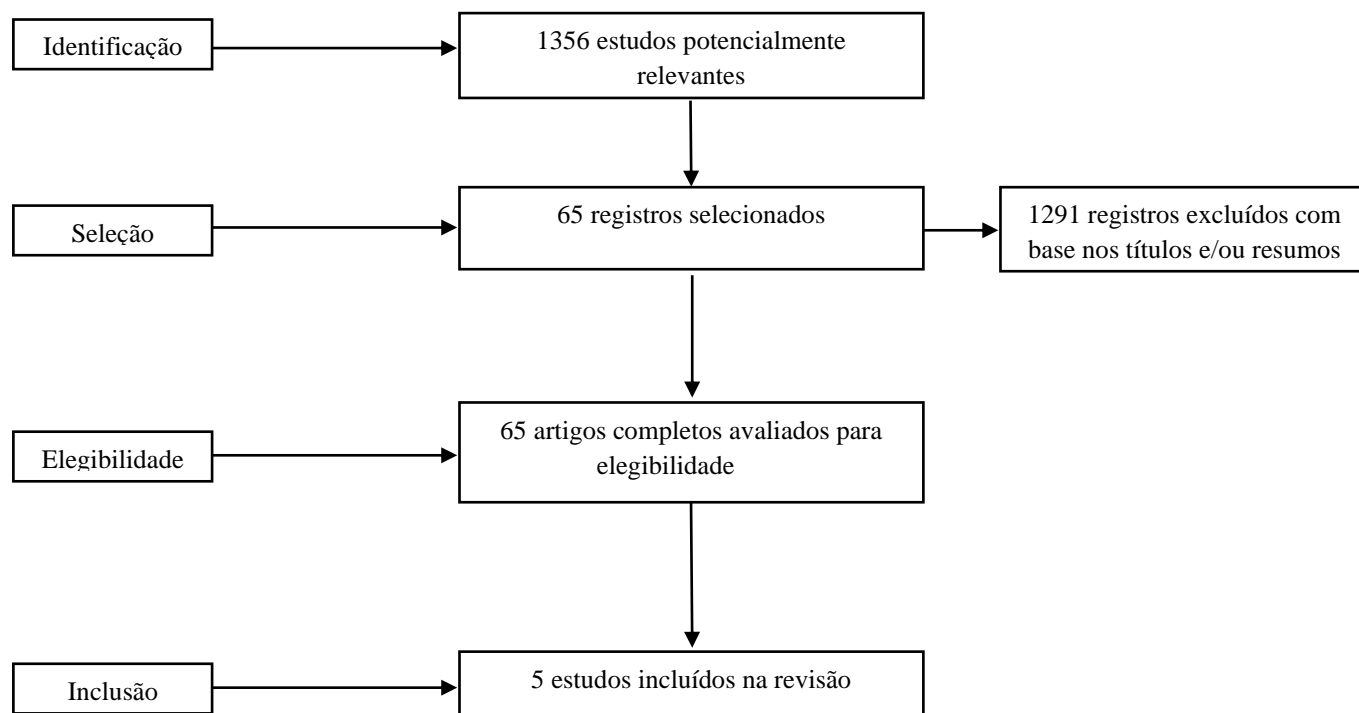
pelas diferentes estratégias de aplicação desses sistemas adesivos nos modos autocondicionante e condicionamento e lavagem. Isso permitirá verificar se as diferenças observadas são significativas para a prática clínica.

## 2. Metodologia

Esta revisão sistemática segue a declaração PRISMA 2020 (Page et al. 2021) e baseia-se na seguinte questão PICOS: População (P): camada híbrida dos adesivos universais; Intervenção (I): aplicação de adesivos universais no modo autocondicionante; Controle (C): aplicação de adesivos universais no modo condicionamento e lavagem; Resultado (O): qualidade da camada híbrida; e Desenho do estudo (S): estudos *in vitro*. A pergunta chave será: “A qualidade(O) da camada híbrida dos adesivos universais (P) aplicados no modo autocondicionante (I) é melhor que no modo condicionamento e lavagem (C)?

- I. Critérios de elegibilidade: Dois revisores avaliaram individualmente os títulos e resumos de todos os estudos. Discrepâncias quanto à elegibilidade dos estudos incluídos foram decididas e resolvidas por meio de discussão e acordo por um terceiro revisor. Os artigos selecionados para revisão de texto completo atenderam aos seguintes critérios de elegibilidade: (1) estudos *in vitro* que relatam o efeito do uso de adesivos universais na qualidade da camada híbrida da dentina; (2) estudos que avaliaram a qualidade da camada híbrida por meio de microscopia confocal de varredura a laser (CLSM); (3) estudos que incluíram um grupo controle no qual o adesivo universal foi aplicado no modo condicionamento e lavagem. Apenas artigos publicados em inglês ou português foram incluídos. Relatos de casos, estudos pilotos, séries de casos e revisões foram excluídos. Cópias completas de todos os estudos potencialmente relevantes foram avaliadas. Artigos que envolviam substratos diferentes dos critérios de inclusão não foram considerados.
- II. Fontes de dados: Dois revisores independentes realizaram a busca de dados literários até dezembro de 2022, abrangendo estudos publicados nos últimos 10 anos no PubMed (MedLine). As palavras-chave e a estratégia de busca no PubMed estão listadas na Tabela 1.
- III. Estratégia de Busca: Um total de 1356 artigos completos foram triados e avaliados.
- IV. Extração de dados: A Figura 1 apresenta um fluxograma que resume o processo de seleção dos artigos. Após a avaliação dos títulos e resumos, 1291 artigos foram excluídos por não atenderem aos critérios de elegibilidade. No final, apenas 5 estudos preencheram todos os critérios e foram incluídos nesta revisão.

**Figura 1** - Fluxograma de pesquisa.



Fonte: Autores (2023).

**Tabela 1** - Estratégia de pesquisa usada no Pubmed.

Estratégia de pesquisa	
#1	Universal adhesives OR Universal adhesive OR Universal simplified adhesive systems OR Universal Dental Adhesives OR Multipurpose adhesives OR multi-purpose adhesives OR multimode adhesives OR multi-mode adhesives or universal bonding agent
#2	Bond OR Bonding OR Dental bonding OR Bonding efficacy OR bond strength OR Bonding performance OR bonding effectiveness OR Bond performance OR adhesive properties OR hybrid layer OR ultramorphology OR microscope OR quality
#3	Dentine OR Dentin
#	#1 AND #2 AND #3

Fonte: Autores (2023).

### 3. Resultados

Um total de 1356 artigos potencialmente relevantes foram identificados nas bases de dados e avaliados pelos títulos e resumos. Desses, 1291 foram excluídos por não atenderem aos critérios de elegibilidade. No final, 5 estudos preencheram os critérios de seleção e foram incluídos nesta revisão de literatura (Tabela 2).

**Tabela 2 - Dados demográficos dos artigos incluídos na revisão.**

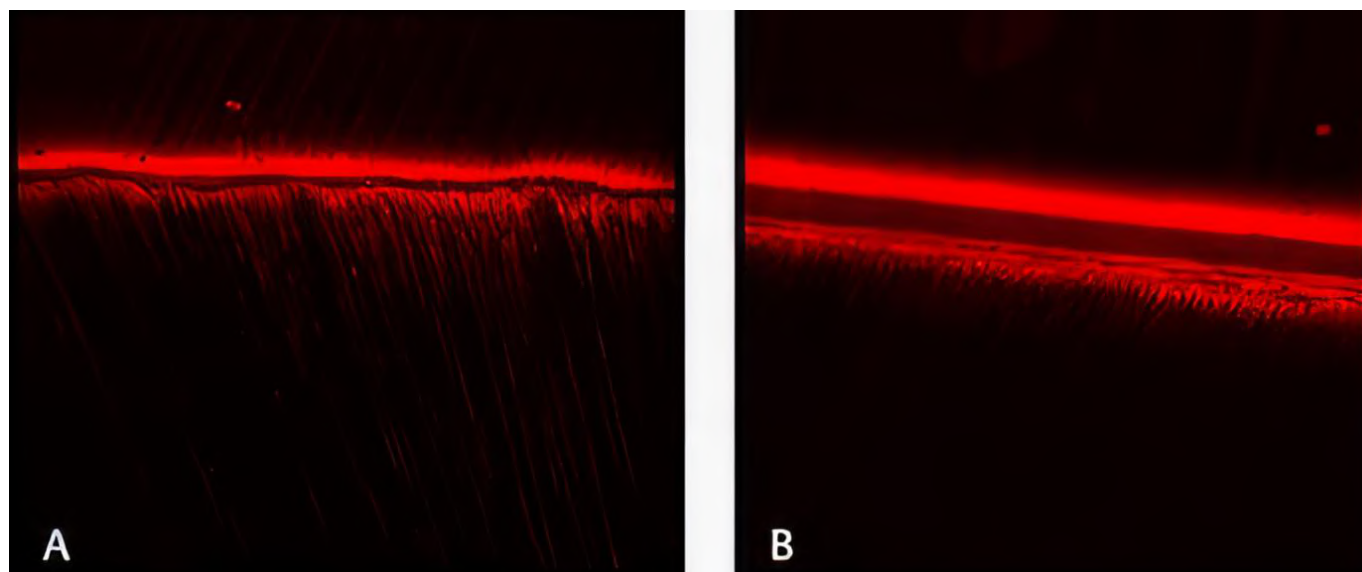
<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>País</b>	<b>Número de dentes</b>	<b>Tipo de dente</b>	<b>Objetivo Primário</b>	<b>Adesivo Universal</b>
<b>Maciel Pires et al</b>	2022	Brasil	64	Molares	Avaliar a resistência de união à microtração e a ultramorfolgia resina/dentina dos adesivos universais modernos aplicados no modo autocondicionante ou no modo condicionamento e lavagem.	Clearfil Universal Bond Quick (Kuraray Noritake, Tóquio, Japão); Scotchbond Universal (3M Oral Care, St. Paul, EUA); Prime & Bond Active Universal, (Dentsply Sirona, Konstanz, Alemanha); Zip-bond X (SDI, Baywater, Australia).
<b>Kanniappan, Hari &amp; Jujare</b>	2022	Malasia	40	Pré-molares	Comparar a interface resina-dentina de dentina hígida e desmineralizada usando sistemas adesivos universais e de condicionamento total	G-Premio Bond (GC Corporation, Tóquio, Japão).
<b>Meng et al</b>	2021	China	300	Molares	Avaliar o desempenho de união de sistemas adesivos universais aplicados no modo autocondicionante ou no modo condicionamento e lavagem em dentina dessensibilizada. A nanoinfiltração foi observada por meio de microscopia eletrônica de varredura.	All-Bond Universal (Bisco, Schaumburg, EUA); Single Bond Universal (3M Oral Care, St. Paul, EUA); Clearfil Universal Bond Quick (Kuraray Noritake, Tóquio, Japão).
<b>Choi et al</b>	2017	Coréia	72	Molares	Avaliar os efeitos da umidade da dentina na resistência de união e na morfologia da interface adesiva de adesivos universais aplicados no modo autocondicionante ou no modo condicionamento e lavagem.	G-Premio Bond (GC Corporation, Tóquio, Japão); All Bond Universal (Bisco, Schaumburg, EUA); Scotchbond Universal (3M Oral Care, St. Paul, EUA).
<b>Wagner et al</b>	2014	Alemanha	-	Molares	Comparar a resistência de união à microtração e penetração da resina na dentina.	Futurabond Universal (Voco, Cuxhaven, Alemanha); All Bond Universal (Bisco, Schaumburg, EUA); Scotchbond Universal (3M Oral Care, St. Paul, EUA).

Fonte: Autores (2023).

Entre os estudos analisados, o Scotchbond Universal (3M Oral Care, St. Paul, EUA) (Maciel Pires et al. 2022; Choi et al. 2017; Wagner et al. 2014) e o All-Bond Universal (Bisco, Schaumburg, EUA) (Meng et al. 2021; Choi et al. 2017; Wagner et al. 2014) foram avaliados em três deles. Já o Clearfil Universal Bond Quick (Kuraray Noritake, Tóquio, Japão) (Maciel Pires et al. 2022; Meng et al. 2021) e o G-Premio Bond (GC Corporation, Tóquio, Japão) (Kanniappan et al. 2022; Choi et al. 2017) foram avaliados em dois estudos. Por fim, o Prime & Bond Active Universal (Dentsply Sirona, Konstanz, Alemanha) (Maciel Pires et al. 2022), o Zip-bond X (SDI, Bayswater, Austrália) (Maciel Pires et al. 2022), o Single Bond Universal (3M Oral Care, St. Paul, EUA) (Meng et al. 2021) e o Futurabond Universal (Voco, Cuxhaven, Alemanha) (Wagner et al. 2014) foram avaliados em um estudo cada.

Os resultados indicam que a qualidade da camada híbrida formada pelos adesivos universais avaliados por meio da microscopia confocal de varredura a laser (CLSM) varia conforme o modo de aplicação. Quando os adesivos universais são aplicados seguindo o protocolo de autocondicionamento, é observada uma camada híbrida fina com baixa concentração de prolongamentos de resina nas interfaces adesivas. Por outro lado, ao se utilizar o protocolo de condicionamento e lavagem, é possível observar uma camada híbrida mais espessa, com tags de resina mais longos e mais concentrados nos túbulos dentinários (Maciel Pires et al. 2022; Kanniappan et al. 2022; Meng et al. 2021; Choi et al. 2017; Wagner et al. 2014). Essas características são mostradas nas Figuras 2 a 7.

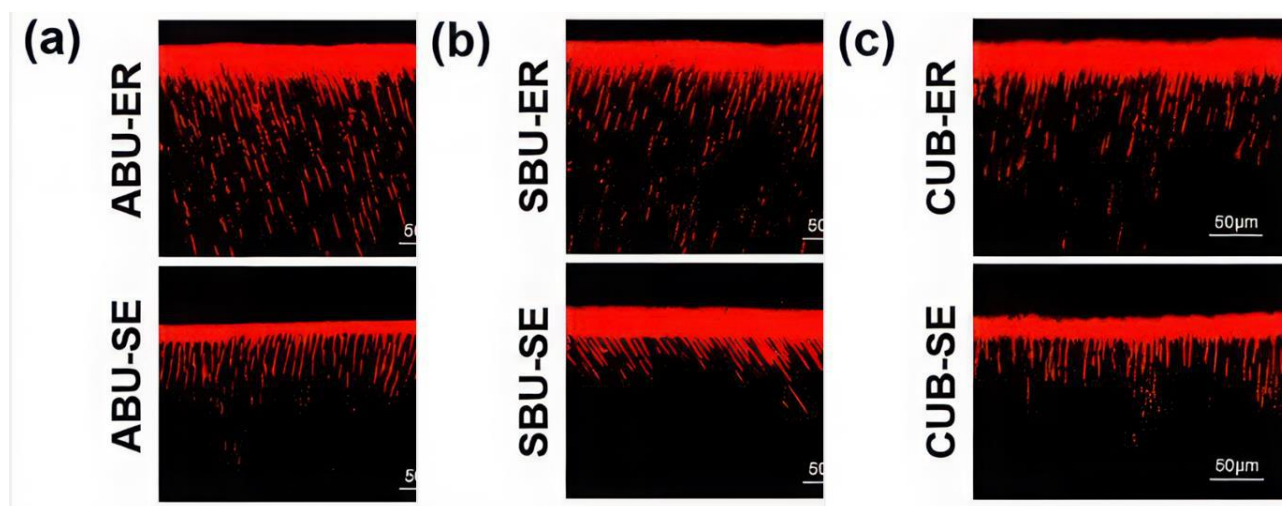
**Figura 2** - Imagens de microscópio confocal de varredura a laser.



(A) sistema de condicionamento e lavagem em comparação com (B) sistema autocondicionante em dentina saudável. O sistema de condicionamento e lavagem em dentina saudável apresenta prolongamentos de resina mais longos e uma camada híbrida mais espessa em comparação com o sistema autocondicionante. Fonte: Kanniappan et al. (2022).

Diferenças no padrão de infiltração da resina adesiva e profundidade de penetração também são observados de acordo com o modo de aplicação do sistema adesivo (Meng et al. 2021). Essas diferenças são demonstradas na Figura 3.

**Figura 3** - Observação da infiltração de resina adesiva no modo de condicionamento e lavagem ou no modo autocondicionante.

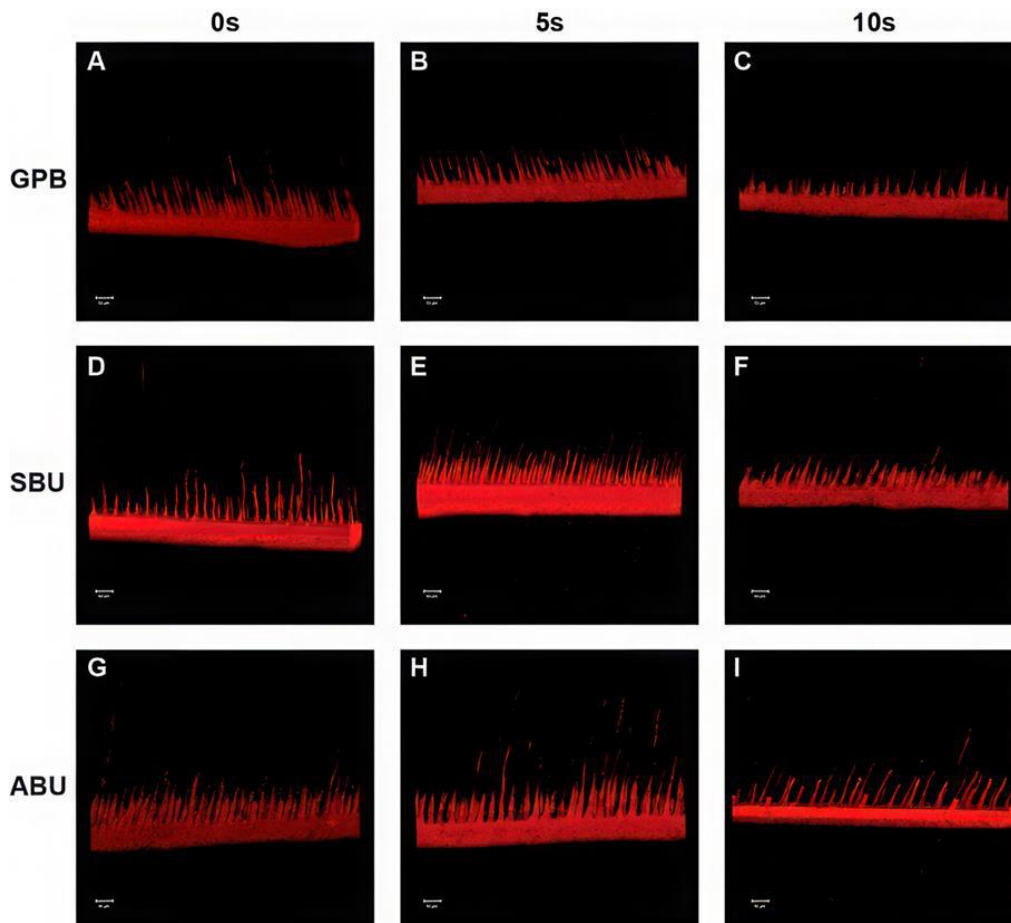


(A) All-Bond Universal (ABU). (B) Single Bond Universal (SBU). (C) Clearfil Universal Bond (CUB). Prolongamentos de resina homogêneos e longos formados no modo de condicionamento e lavagem e prolongamentos de resina curtos formados no modo autocondicionante. ER: modo de condicionamento e lavagem; SE: modo autocondicionante. Fonte: Meng et al. (2021).

As Figuras 4 e 5 mostram imagens representativas das interfaces adesivas de cada grupo experimental obtidas através da microscopia confocal de varredura a laser (CLSM). Quando os adesivos universais foram aplicados na dentina condicionada com ácido fosfórico, uma camada híbrida foi claramente identificada e uma concentração consistentemente alta de prolongamentos de resina foi formada nos túbulos dentinários (Figura 4). Por outro lado, a secagem prolongada das superfícies dentinárias com ar resultou em um padrão irregular, baixa concentração de prolongamentos de resina e profundidade de

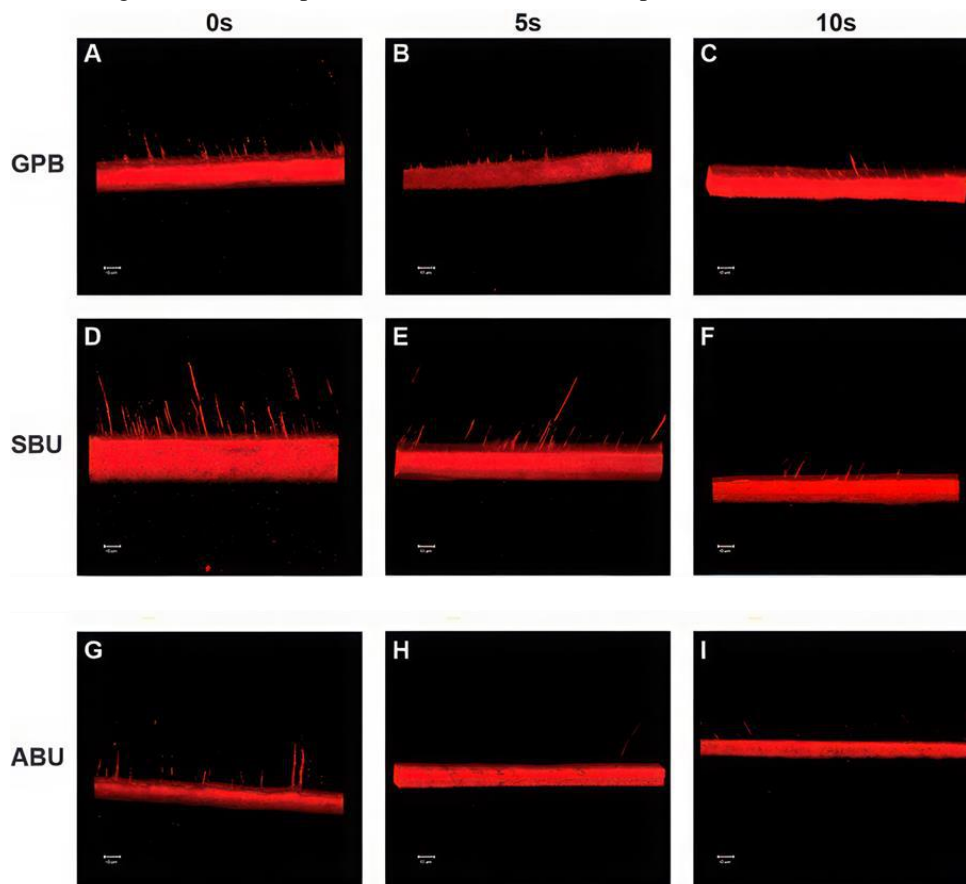
penetração rasa (Figuras 4 e 5). Embora a espessura do adesivo não tenha sido uniforme em todas as interfaces adesivas, esse fenômeno foi observado com mais clareza no adesivo All-Bond Universal do que no G-Premio Bond e Scotchbond Universal (Figura 4) (Choi et al. 2017).

**Figura 4** - Imagens de microscopia confocal de varredura a laser das interfaces dos adesivos universais no modo de condicionamento e lavagem (A-I).



G-Premio Bond (GPB; GC Corp., Tokyo, Japan), Single Bond Universal (SBU; 3M ESPE, St. Paul, MN, USA), and All Bond Universal (ABU; Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA). Fonte: Choi et al. (2017).

**Figura 5** - Imagens (A-I) correspondem aos mesmos adesivos aplicados no modo autocondicionante.

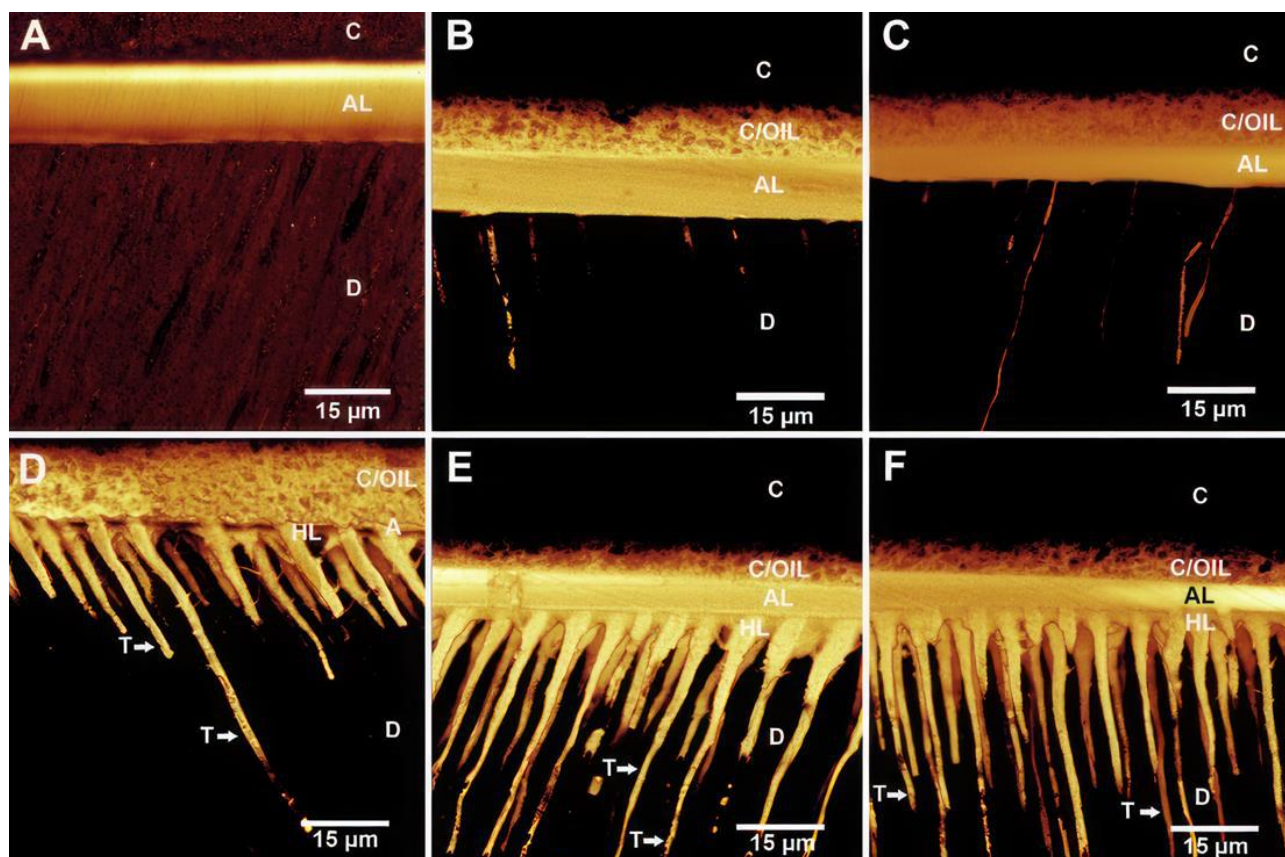


G-Premio Bond (GPB; GC Corp., Tokyo, Japan), Single Bond Universal (SBU; 3M ESPE, St. Paul, MN, USA), and All Bond Universal (ABU; Bisco Inc., Shaumburg, IL, USA). Fonte: Choi et al. (2017).

Na Figura 6, são demonstradas as diferenças presentes na qualidade da camada híbrida. Variações na profundidade de penetração e da espessura da camada híbrida são observadas para diferentes adesivos e modos de aplicação.



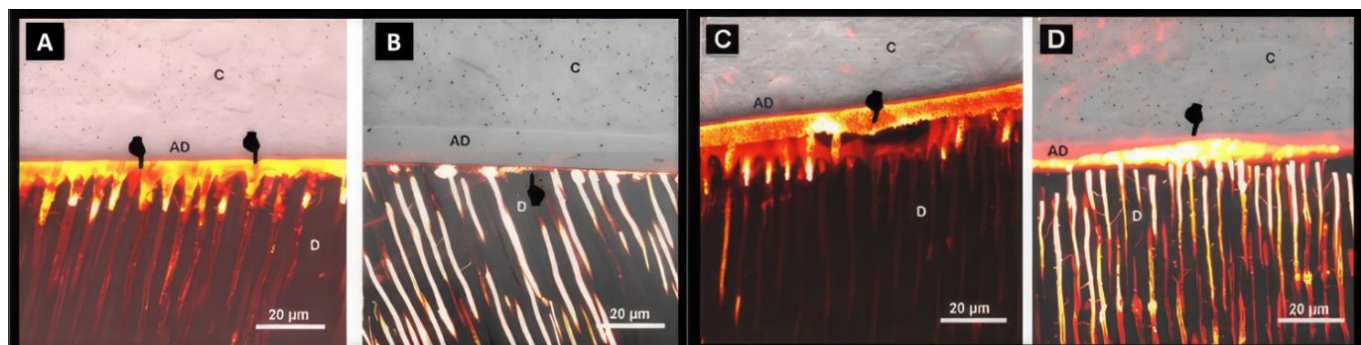
**Figura 6** - Imagens de microscopia confocal das interfaces dos adesivos universais.



(A–C) correspondem respectivamente a Futurabond Universal (FbU), All Bond Universal (ABU) e Scotchbond Universal (SBU) no modo autocondicionante. (D–F) correspondem aos mesmos adesivos, mas no modo condicionamento e lavagem. AL: camada adesiva; D: dentina; C: composto; C/OIL: camada de inibição; T: tags de resina; HL: camada híbrida. Nem a penetração na dentina e nem a formação da camada híbrida foram detectáveis para todos os UAs testados no modo SE (Fig. A–C). Em contraste, uma HL média de 2-4  $\mu\text{m}$  foi identificada no modo E&R e a penetração profunda dos UAs na dentina foi discernível pela formação de prolongamentos de resina. FbU produziu prolongamentos de resina de 18-30  $\mu\text{m}$  de comprimento (Fig. D), enquanto ABU (Fig. E) e SBU (Fig. F) mostraram uma penetração ligeiramente mais profunda (Tabela 3). FbM mostrou apenas uma leve penetração (menos de 0,5  $\mu\text{m}$ ) na dentina (Fig. A), enquanto FbDC (Fig. B) produziu uma HL comparável à dos UAs no modo E&R (cerca de 2,3  $\mu\text{m}$ ) e prolongamentos de resina de 9-30  $\mu\text{m}$  de comprimento. No entanto, esta análise reflete apenas uma avaliação semi-quantitativa dos parâmetros descritos. Fonte: Wagner et al. (2014).

Na Figura 7, a imagem C apresenta uma projeção CLSM representativa da interface resina-dentina criada com Scotchbond Universal aplicado no modo condicionamento e lavagem após um envelhecimento prolongado de 10 meses. Nela, é possível observar a degradação da camada híbrida (indicada pelo ponteiro) dentro de uma interface resina-dentina permeável à solução fluorescente. Por outro lado, a imagem D exibe a interface resina-dentina criada com Scotchbond Universal aplicado no modo autocondicionante. Nessa imagem, nota-se uma importante captação de corante fluorescente dentro da camada de interdifusão e da camada adesiva, sem a presença de lacunas (indicadas pelo ponteiro) (Maciel Pires et al. 2022).

**Figura 7** - Imagens de microscopia confocal. Interfaces resina-dentina testadas após 24 horas de armazenamento (a e b) e após envelhecimento prolongado (10 meses em saliva artificial).



Na imagem A, que é uma projeção CLSM da interface resina-dentina criada com Scotchbond Universal (SCH) no modo ER, é possível observar uma camada híbrida permeável e livre de lacunas para a solução fluorescente (ponteiro), enquanto a camada adesiva (AD) não apresenta sinais de captação de corante. Já na imagem B, que também é uma projeção CLSM, é possível ver a interface resina-dentina criada com SCH aplicado no modo SE, caracterizada por uma leve captação de corante fluorescente dentro da camada de interdifusão (ponteiro). Na imagem C, que é uma imagem de projeção CLSM representativa da interface resina-dentina criada com SCH aplicado no modo ER após envelhecimento prolongado (10 meses), é possível notar a degradação da camada híbrida (ponteiro) dentro de uma interface resina-dentina permeável à solução fluorescente. Por fim, na imagem D, que mostra a interface resina-dentina criada com SCH aplicado no modo SE, é possível observar uma importante captação de corante fluorescente dentro da camada de interdifusão e camada adesiva (AD), sem sinal de lacuna (ponteiro). Fonte: Maciel Pires et al. (2022).

#### 4. Discussão

“A qualidade da camada híbrida da dentina dos adesivos universais aplicados no modo autocondicionante é melhor que no modo condicionamento e lavagem?” Esta foi a pergunta chave desta revisão sistemática. Foi observado que existem evidências mostrando diferenças importantes na qualidade da camada híbrida de acordo com a forma como o adesivo universal é aplicado e com o envelhecimento desta interface adesiva resina-dentina (Maciel Pires et al. 2022). No entanto, não existem evidências suficientes para afirmar qual forma de aplicação dos adesivos apresenta melhor comportamento clínico (Bakry e Abbassy 2021; Lawson et al. 2015; Cardoso et al. 2019; Oz et al. 2019).

A avaliação *in vitro* da interface adesiva é geralmente realizada através de estudos de penetração de corantes para detectar possíveis falhas de união (Kanniappan et al. 2022). Para visualizar essas estruturas adesivas, como a camada híbrida, são utilizadas técnicas de microscopia. Nesta revisão, foram selecionados os estudos que avaliaram a interface adesiva através da microscopia confocal de varredura a laser (CLSM), que tem se mostrado uma técnica valiosa para este fim. A CLSM ganhou reputação ao longo dos anos por utilizar luz laser que produz artefatos mínimos de distorção e difração quando comparada à microscopia óptica (Hamdy 2017). Além disso, a técnica CLSM requer uma concentração muito baixa de fluorocromos, que são solúveis nos líquidos adesivos e não alteram suas propriedades (Hamdy 2017; Ramya et al. 2015; Marigo et al. 2012). Outras vantagens incluem a capacidade de gerar seccionamento óptico seriado não invasivo de espécimes intactos, eliminando os artefatos que surgem com o seccionamento manual, como visto nas técnicas de microscopia eletrônica de varredura (SEM) e microscopia eletrônica de transmissão (TEM) (Ramya et al. 2015; Kanniappan et al. 2022). A CLSM fornece informações mais detalhadas do que o SEM devido à sua natureza não destrutiva e eliminação de outros artefatos, como contração, tumefação ou desprendimentos que podem ocorrer com o SEM. Além disso, o CLSM oferece a possibilidade de distinguir os componentes dos agentes de união que podem ser visualizados até 100 µm abaixo da superfície (Kanniappan et al. 2022; Usha et al. 2011).

Um marco na rápida evolução dos sistemas adesivos foi a introdução do termo “Camada Híbrida” por Nakabayashi em 1982, que tem como principal mecanismo de adesão o intertravamento micromecânico do adesivo com as fibras colágenas da dentina (van Meerbeek et al. 2020). Hoje, os mais novos adesivos chamados de Adesivos Universais buscam tanto esse

intertravamento micromecânico quanto uma interação química com a hidroxiapatita da estrutura dentária (Maciel Pires et al. 2022; Bakry e Abbassy 2021; Kanniappan et al. 2022; van Meerbeek et al. 2020). Esses adesivos podem ser aplicados na forma de condicionamento e lavagem ou no modo autocondicionante (van Meerbeek et al. 2020).

Na obtenção de uma boa interface adesiva na dentina com adesivos universais, alguns fatores são importantes, como: o tipo de substrato dentinário (Bakry e Abbassy 2021; Lawson et al. 2015); a composição química do adesivo (Maciel Pires et al. 2022; Kanniappan et al. 2022); os componentes minerais da smear layer que podem neutralizar o ácido do adesivo, afetando assim a desmineralização da superfície dentinária (Kanniappan et al. 2022); a capacidade dos monômeros funcionais e/ou ácidos do adesivo de interagir com a smear layer e a dentina mineralizada subjacente (Maciel Pires et al. 2022); e uma infiltração eficaz dos monômeros resinosos, que está relacionada à alta hidrofiliabilidade do seu solvente e dos monômeros funcionais (normalmente do MDP e PENTA) (Maciel Pires et al. 2022). Além disso, é necessário fornecer tempo adequado para os procedimentos de adesão (Thanatvarakorn et al. 2016). Procedimentos de adesão rápidos levam à evaporação incompleta dos solventes (Thanatvarakorn et al. 2016; Maciel Pires et al. 2022), o que tem sido descrito como a principal razão para um menor grau de conversão dos monômeros (Cadenaro et al. 2019), separação de fase dos adesivos e degradação da interface resina-dentina (Maciel Pires et al. 2022; Bacelar-Sá et al. 2017). Realizar também uma aplicação ativa dos adesivos, permitindo que os monômeros ácidos descalcifiquem a dentina e criem um intertravamento mecânico, garante a formação de uma camada híbrida confiável (Maciel Pires et al. 2022; Thanatvarakorn et al. 2016). As moléculas hidrofílicas e solventes desses sistemas adesivos aumentam a sorção e solubilidade, podendo levar à formação de porosidade na camada híbrida e adesiva (Zhang et al. 2016; Gutiérrez et al. 2019). Também é demonstrado que na presença de sorção de água, adesivos levemente ácidos podem liberar prótons que exacerbam a degradação da interface silano-partículas de carga (Feitosa et al. 2019).

A aplicação dos sistemas adesivos universais no modo condicionamento e lavagem pode garantir maior resistência de união imediata devido a um intertravamento superior entre resina-dentina (Maciel Pires et al. 2022; Wagner et al. 2014). Isso ocorre porque a desmineralização da dentina provocada pelo condicionamento com ácido fosfórico expõe as fibras colágenas, que são infiltradas pelos monômeros resinosos dos modernos sistemas adesivos universais (Kanniappan et al. 2022; Da Rosa et al. 2015). Após a fotopolimerização desses adesivos, forma-se uma camada híbrida que possibilita a obtenção de uma resistência de união imediata e confiável (Maciel Pires et al. 2022). Essa resistência de união geralmente é maior do que a obtida pelo mesmo sistema adesivo universal aplicado no modo autocondicionante (Maciel Pires et al. 2022; Cuevas-Suárez et al. 2019). No entanto, fatores como a composição química dos sistemas adesivos universais, sua interação com a smear layer e o protocolo de aplicação empregado podem ser determinantes para alcançar uma adesão duradoura e previsível à dentina (Saikaew et al. 2018; Hardan et al. 2021). É importante destacar que o ácido fosfórico aplicado na dentina pode provocar o desnudamento completo das fibrilas de colágeno de seu revestimento de hidroxiapatita (Bakry & Abbassy 2021) e expor a matriz de colágenos até uma profundidade de 8 a 12 µm (Maciel Pires et al. 2022; Feitosa et al. 2014). Muitas vezes, a grande quantidade de fibras colágenas expostas é incompletamente infiltrada pelos monômeros dos adesivos, deixando o colágeno desprotegido e formando uma camada híbrida mais propensa à degradação tanto do colágeno quanto do adesivo ao longo do tempo (Maciel Pires et al. 2022; van Meerbeek et al. 2020; Frassetto et al. 2016; Meng et al. 2021). Essas fibras de colágeno desprotegidas são propensas à rápida hidrólise, que é o principal fator de degradação dos adesivos de condicionamento e lavagem e contribui para a redução da resistência de união ao longo do tempo (Maciel Pires et al. 2022; Bakry e Abbassy 2021; Hashimoto et al. 2003). As fibras colágenas desprotegidas podem ativar as metaloproteinases (por exemplo, MMP-2, MMP-9), que são proteases intrínsecas da matriz de colágeno da dentina. Essas metaloproteinases levam à degradação das fibras colágenas, acarretando na infiltração dos fluidos orais e bactérias nesta zona crítica e provocando uma eventual falha na interface resina-dentina (Bakry e Abbassy 2021; Hashimoto et al. 2003). Um dos componentes mais sensíveis cuja estabilidade

será comprometida pela deterioração da capacidade de vedação da interface resina-dentina é o hidróxi-etil-metacrilato (HEMA), que leva à degradação acelerada da interface adesiva ao longo do tempo (Bakry & Abbassy 2021; van Meerbeek et al. 2020).

Por outro lado, o uso dos mesmos sistemas adesivos universais no modo autocondicionante, ou seja, sem realizar o condicionamento ácido fosfórico e lavagem, tem mostrado menor nanoinfiltração. Isso pode ser atribuído ao condicionamento e penetração simultânea desses adesivos na estrutura dentinária, evitando o colapso das fibras colágenas (Bakry e Abbassy 2021; van Meerbeek et al. 2020; Meng et al. 2021). A nanoinfiltração é um defeito localizado na interface adesivo-dentina que contribui para a sua degradação (Muñoz et al. 2015) e pode ser causada pela falha da infiltração do adesivo e/ou presença de água residual. Maiores valores de nanoinfiltração na camada híbrida em adesivos universais são observados quando o modo de condicionamento e lavagem é realizado (Meng et al. 2021). Estudos como o de Cardoso et al. (2019) e (Zhang et al. 2015), verificaram a estabilidade de união de adesivos universais após um período de armazenamento e/ou envelhecimento e relataram que a adesão à dentina apresenta maior estabilidade no modo autocondicionante devido às menores quedas médias na resistência de união.

Os adesivos aplicados no modo autocondicionante apresentam maior longevidade porque a interface resina-dentina criada principalmente com o uso dos adesivos universais suaves e ultra-suaves apresenta maior resistência à degradação pelo envelhecimento. Com base em seu pH, os adesivos universais podem ser classificados em forte ( $\text{pH} \leq 1$ ), medianos ( $\text{pH} 1-2$ ), leve ( $\text{pH} \approx 2$ ) ou ultraleve ( $\text{pH} > 2,5$ ) (van Meerbeek et al. 2020). O pH do sistema adesivo autocondicionante influencia a profundidade da desmineralização, sendo que quanto menor o pH, maior seu poder desmineralizante (Wagner et al. 2014). O pH é responsável, em grande parte, pela estabilidade dos adesivos universais, sendo o desempenho de união dentinária dos adesivos leves superior ao ultraleve e fortes (Stape et al. 2021; Wagner et al. 2014). As camadas híbridas formadas por adesivos universais autocondicionantes leves são mais finas do que as geradas por adesivos mais fortes ou adesivos aplicados no modo condicionamento e lavagem (Wagner et al. 2014). A agressividade do pH não está diretamente relacionada com maiores resistências de união, pois adesivos fortes e medianos apresentam valores menores. Acredita-se que os monômeros ácidos de adesivos fortes retêm sua acidez e continuam a condicionar a dentina, o que pode levar a uma polimerização incompleta nos túbulos dentinários. Os adesivos leves desmineralizam superficialmente a dentina (Wagner et al. 2014; van Meerbeek et al. 2020), onde essas fibras colágenas parcialmente desmineralizadas, com resíduos de cristalitos de apatita muito finos deixados dentro da matriz de colágeno da dentina, promovem a interação com os monômeros funcionais (Maciel Pires et al. 2022; Kanniappan et al. 2022) para produzir sais estáveis menos propensos à degradação hidrolítica (Maciel Pires et al. 2022; Breschi et al. 2018) ao longo do tempo (van Meerbeek et al. 2020). A abordagem autocondicionante também reduz o deslocamento de água dentro da camada híbrida e, considerando que a hidrodinâmica é essencial para produzir a degradação dos polímeros, a presença reduzida de água pode preservar a camada híbrida (Cuevas-Suárez et al. 2019)(19). Evidências microscópicas mostram que a estratégia autocondicionante leva a uma menor fluorescência e degradação do colágeno após o envelhecimento (Maciel Pires et al. 2022).

Os adesivos universais apresentam diferentes monômeros funcionais ácidos, dentre eles o 10-MDP se destaca graças à sua ligação química com a dentina por meio de seu grupo fosfato que se liga ionicamente com o cálcio residual das fibras colágenas previamente condicionadas (Jacker-Guhr et al. 2019; van Meerbeek et al. 2020). Muñoz et al. (2015) relataram que adesivos universais com 10-MDP apresentam melhor longevidade da união das interfaces dentinárias. Isso é resultado da formação de um sal de MDP-Ca estável e resistente à água criado pela reação de 10-MDP e os íons cálcio da hidroxiapatita (Jacker-Guhr et al. 2019; Muñoz et al. 2015). Conforme o conceito de adesão-descalcificação proposto nos adesivos autocondicionantes, a desmineralização excessiva dos tecidos por ácidos fortes resulta na dissolução dos cristais de hidroxiapatita. Isso anula o potencial de ligação química entre os monômeros funcionais e os cristais de hidroxiapatita, bem

como o potencial de criar nano camadas de precipitado de cálcio com esses monômeros (MDP). Essa nano camada contribui para a durabilidade da união, protegendo a camada híbrida da degradação hidrolítica devido à baixa solubilidade dos sais de MDP-Cálcio (Chen et al. 2015).

Considerando as evidências de que a abordagem de condicionamento e lavagem da dentina prévia à aplicação dos adesivos universais leves não melhora a resistência de união (Maciel Pires et al. 2022; Cardoso et al. 2019; Kannappan et al. 2022), uma abordagem autocondicionante seria mais vantajosa. Isso simplificaria a aplicação clínica, reduzindo o risco de sensibilidade pós-operatória e o tempo clínico, além de levar a uma menor possibilidade de nanoinfiltração e degradação da camada híbrida com o envelhecimento da interface resina-dentina (van Meerbeek et al. 2020).

## 5. Conclusão

A estratégia adesiva influencia na morfologia da camada híbrida. Diante dos estudos *in vitro* avaliados, o modo de aplicação autocondicionante deve ser priorizado ao se utilizar sistemas adesivos universais em dentina, tendo em vista seu comportamento superior frente ao envelhecimento.

Entretanto, mais estudos *in vitro* e *in vivo* em um ambiente controlado e por um longo período de acompanhamento são necessários para prever a longevidade das restaurações em resina composta utilizando sistemas adesivos universais, pois ainda não há evidências suficientes para afirmar qual forma de aplicação dos adesivos apresenta melhor comportamento clínico.

## Referências

- Bacelar-Sá, R., Sauro, S., Abuna, G., Vitti, R., Nikaido, T., Tagami, J., Ambrosano, G. M. B., & Giannini, M. (2017). Adhesion evaluation of dentin sealing, microporosity, and bond strength of current HEMA-free adhesives to dentin. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 19(4), 357–364. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a38866>.
- Bakry, A. S., & Abbassy, M. A. (2021). Application modes affect two universal adhesive system's nanoleakage expression and shear bond strength. *BioMed Research International*, 7375779. <https://doi.org/10.1155/2021/7375779>.
- Breschi, L., Maravic, T., Cunha, S. R., Comba, A., Cadenaro, M., Tjäderhane, L., Pashley, D. H., Tay, F. R., & Mazzoni, A. (2018). Dentin bonding systems: From dentin collagen structure to bond preservation and clinical applications. *Dental Materials: Official publication of the Academy of Dental Materials*, 34(1), 78–96. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.11.005>.
- Cadenaro, M., Maravic, T., Comba, A., Mazzoni, A., Fanfoni, L., Hilton, T., Ferracane, J., & Breschi, L. (2019). The role of polymerization in adhesive dentistry. *Dental Materials: Official publication of the Academy of Dental Materials*, 35(1), e1–e22. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.11.012>.
- Cardoso, G. C., Nakanishi, L., Isolan, C. P., Jardim, P. D. S., & Moraes, R. R. (2019). Bond stability of universal adhesives applied to dentin using etch-and-rinse or self-etch strategies. *Brazilian Dental Journal*, 30(5), 467–475. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201902578>.
- Chen, C., Niu, L. N., Xie, H., Zhang, Z. Y., Zhou, L. Q., Jiao, K., Chen, J. H., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2015). Bonding of universal adhesives to dentine-- Old wine in new bottles? *Journal of Dentistry*, 43(5), 525–536. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.03.004>.
- Choi, A. N., Lee, J. H., Son, S. A., Jung, K. H., Kwon, Y. H., & Park, J. K. (2017). Effect of dentin wetness on the bond strength of universal adhesives. *Materials (Basel, Switzerland)*, 10(11), 1224. <https://doi.org/10.3390/ma10111224>.
- Cuevas-Suárez, C. E., da Rosa, W. L. O., Lund, R. G., da Silva, A. F., & Piva, E. (2019). Bonding performance of universal adhesives: an updated systematic review and meta-analysis. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 21(1), 7–26. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a41975>.
- Da Rosa, W. L., Piva, E., & Silva, A. F. (2015). Bond strength of universal adhesives: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 43(7), 765–776. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.04.003>.
- Feitosa, V. P., Sauro, S., Ogliari, F. A., Stansbury, J. W., Carpenter, G. H., Watson, T. F., Sinhoret, M. A., & Correr, A. B. (2014). The role of spacer carbon chain in acidic functional monomers on the physicochemical properties of self-etch dental adhesives. *Journal of Dentistry*, 42(5), 565–574. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.02.009>.
- Feitosa, V. P., Sauro, S., Zenobi, W., Silva, J. C., Abuna, G., Van Meerbeek, B., Sinhoret, M. A. C., Correr, A. B., & Yoshihara, K. (2019). Degradation of adhesive-dentin interfaces created using different bonding strategies after five-year simulated pulpal pressure. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 21(3), 199–207. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a42510>.
- Frassetto, A., Breschi, L., Turco, G., Marchesi, G., Di Lenarda, R., Tay, F. R., Pashley, D. H., & Cadenaro, M. (2016). Mechanisms of degradation of the hybrid layer in adhesive dentistry and therapeutic agents to improve bond durability - A literature review. *Dental Materials: Official publication of the Academy of Dental Materials*, 32(2), e41–e53. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.11.007>.

- Gutiérrez, M. F., Alegría-Acevedo, L. F., Méndez-Bauer, L., Bermudez, J., Dávila-Sánchez, A., Buvinic, S., Hernández-Moya, N., Reis, A., Loguercio, A. D., Farago, P. V., Martin, J., & Fernández, E. (2019). Biological, mechanical and adhesive properties of universal adhesives containing zinc and copper nanoparticles. *Journal of Dentistry*, 82, 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.01.012>.
- Hamdy T. M. (2017). Interfacial microscopic examination and chemical analysis of resin-dentin interface of self-adhering flowable resin composite. *F1000 Research*, 6, 1688. <https://doi.org/10.12688/f1000research.12306.4>.
- Hardan, L., Bourgi, R., Kharouf, N., Mancino, D., Zarow, M., Jakubowicz, N., Haikel, Y., & Cuevas-Suárez, C. E. (2021). Bond strength of universal adhesives to dentin: a systematic review and meta-analysis. *Polymers*, 13(5), 814. <https://doi.org/10.3390/polym13050814>.
- Hashimoto, M., Ohno, H., Sano, H., Kaga, M., & Oguchi, H. (2003). *In vitro* degradation of resin-dentin bonds analyzed by microtensile bond test, scanning and transmission electron microscopy. *Biomaterials*, 24(21), 3795–3803. [https://doi.org/10.1016/s0142-9612\(03\)00262-x](https://doi.org/10.1016/s0142-9612(03)00262-x).
- Jacker-Guhr, S., Sander, J., & Luehrs, A. K. (2019). How "universal" is adhesion? Shear bond strength of multi-mode adhesives to enamel and dentin. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 21(1), 87–95. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a41974>.
- Kanniappan, G., Hari, P., & Jujare, R. H. (2022). Comparative evaluation of resin dentin interface using universal and total-etch adhesive systems on sound and eroded dentin: *in vitro* study. *European Journal of Dentistry*, 16(1), 153–160. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1734469>.
- Lawson, N. C., Robles, A., Fu, C. C., Lin, C. P., Sawlani, K., & Burgess, J. O. (2015). Two-year clinical trial of a universal adhesive in total-etch and self-etch mode in non-carious cervical lesions. *Journal of Dentistry*, 43(10), 1229–1234. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.07.009>.
- Leite, M. L. A. E. S., Costa, C. A. S., Duarte, R. M., Andrade, A. K. M., & Soares, D. G. (2018). Bond strength and cytotoxicity of a universal adhesive according to the hybridization strategies to dentin. *Brazilian Dental Journal*, 29(1), 68–75. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201801698>.
- Maciel Pires, P., Dávila-Sánchez, A., Faus-Matoses, V., Nuñez Martí, J. M., Lo Muzio, L., & Sauro, S. (2022). Bonding performance and ultramorphology of the resin-dentine interface of contemporary universal adhesives. *Clinical oral investigations*, 26(6), 4391–4405. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04402-3>.
- Marigo, L., Lajolo, C., Castagnola, R., Angerame, D., & Somma, F. (2012). Morphological confocal laser scanning microscope evaluation of four different "etch and rinse" adhesives in post endodontic restoration. *Dental Materials Journal*, 31(6), 988–994. <https://doi.org/10.4012/dmj.2012-022>
- Meng, Y., Huang, F., Wang, S., Li, M., Lu, Y., Pei, D., & Li, A. (2021). Bonding performance of universal adhesives applied to nano-hydroxyapatite desensitized dentin using etch-and-rinse or self-etch mode. *Materials (Basel, Switzerland)*, 14(16), 4746. <https://doi.org/10.3390/ma14164746>.
- Muñoz, M. A., Luque-Martinez, I., Malaquias, P., Hass, V., Reis, A., Campanha, N. H., & Loguercio, A. D. (2015). *In vitro* longevity of bonding properties of universal adhesives to dentin. *Operative Dentistry*, 40(3), 282–292. <https://doi.org/10.2341/14-055-L>.
- Oz, F. D., Ergin, E., & Canatan, S. (2019). Twenty-four-month clinical performance of different universal adhesives in etch-and-rinse, selective etching and self-etch application modes in NCCL - a randomized controlled clinical trial. *Journal of Applied Oral Science: Revista FOB*, 27, e20180358. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2018-0358>.
- Ramya, M.K., Nayak, M., Prasada, K., Nair, S.V., Greeshma Florence Norohna, G.F., & Nambiar, J.M. (2015). Evaluation of resin dentin interface of a self-etch adhesive in comparison with a total etch adhesive using confocal microscopy. *Journal of International Oral Health*, 7(11), 24–27.
- Saikaew, P., Matsumoto, M., Chowdhury, A., Carvalho, R. M., & Sano, H. (2018). Does shortened application time affect long-term bond strength of universal adhesives to dentin? *Operative Dentistry*, 43(5), 549–558. <https://doi.org/10.2341/17-205-L>.
- Stape, T. H. S., Viita-Aho, T., Sezinando, A., Seseogullari-Dirihan, R., Eleftheriadi, E., Mutluay, M., & Tezvergil-Mutluay, A. (2022). To etch or not to etch, part II: on the hydrophobic-rich content and fatigue strength of universal adhesives. *Dental Materials: Official publication of the Academy of Dental Materials*, 38(8), 1419–1431. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.06.031>
- Stape, T. H. S., Viita-Aho, T., Sezinando, A., Wik, P., Mutluay, M., & Tezvergil-Mutluay, A. (2021). To etch or not to etch, part I: on the fatigue strength and dentin bonding performance of universal adhesives. *Dental Materials: Official publication of the Academy of Dental Materials*, 37(6), 949–960. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.02.016>.
- Thanatvarakorn, O., Prasansuttiporn, T., Takahashi, M., Thittaweerat, S., Foxton, R. M., Ichinose, S., Tagami, J., & Nakajima, M. (2016). Effect of scrubbing technique with mild self-etching adhesives on dentin bond strengths and nanoleakage expression. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 18(3), 197–204. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a36033>.
- Usha, H., Kumari, A., Mehta, D., Kaiwar, A., & Jain, N. (2011). Comparing microleakage and layering methods of silorane-based resin composite in class V cavities using confocal microscopy: An *in vitro* study. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*, 14(2), 164–168. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.82624>.
- Van Meerbeek, B., Yoshihara, K., Van Landuyt, K., Yoshida, Y., & Peumans, M. (2020). From Buonocore's Pioneering Acid-Etch Technique to Self-Adhering Restoratives. A Status Perspective of Rapidly Advancing Dental Adhesive Technology. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 22(1), 7–34. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a43994>.
- Wagner, A., Wendler, M., Petschelt, A., Belli, R., & Lohbauer, U. (2014). Bonding performance of universal adhesives in different etching modes. *Journal of Dentistry*, 42(7), 800–807. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.04.012>.
- Zhang, Z. Y., Tian, F. C., Niu, L. N., Ochala, K., Chen, C., Fu, B. P., Wang, X. Y., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2016). Defying ageing: an expectation for dentine bonding with universal adhesives? *Journal of Dentistry*, 45, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.11.008>.
- Zhang, Z., Beitzel, D., Mutluay, M., Tay, F. R., Pashley, D. H., & Arola, D. (2015). On the durability of resin-dentin bonds: identifying the weakest links. *Dental Materials: Official publication of the Academy of Dental Materials*, 31(9), 1109–1118. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.06.011>