

Alternativas para minimizar a degradação da interface adesiva de restaurações dentais: revisão da literatura

Alternatives to minimize the degradation of the adhesive interface of dental restorations: literature review

Alternativas para minimizar la degradación de la interfaz adhesiva de restauraciones dentales: revisión de la literatura

Terezinha Fatima de **SOUZA**
Sheyla Adriane Rodrigues Oliveira **JOÃO**
Eliane Cristina Gava **PIZI**
Anderson **CATELAN**

Programa de Pós-Graduação em Odontologia - Clínica Odontológica, Unoeste Univ. do Oeste Paulista, 19050-920, Presidente Prudente - SP, Brasil

Resumo

A grande demanda por restaurações estéticas tem propiciado o desenvolvimento constante de materiais resinosos. Entretanto, mesmo com a evolução destes materiais e o aprimoramento do procedimento de adesão, as restaurações dentais adesivas falham em longo prazo. A interface de união dentina-restauração é passível de degradação, sendo dois os principais mecanismos relacionados à hidrólise e proteólise. O objetivo neste estudo foi, por meio de uma revisão da literatura, abordar e discutir os mecanismos relacionados à degradação da interface adesiva e técnicas alternativas para minimizar a degradação da interface de união à dentina em restaurações adesivas diretas. As estratégias se baseiam em melhorar a impregnação do adesivo na dentina desmineralizada, aumentar a resistência do polímero formado pelos sistemas adesivos e a resistência das fibrilas colágenas à degradação enzimática. Desta forma, se essas técnicas forem usadas com objetivo de minimizar a degradação da interface de união à dentina em restaurações adesivas diretas, uma maior longevidade clínica é esperada.

Descritores: Adesivos Dentinários; Falha de Restauração Dentária; Inibidores de Proteases.

Abstract

The great demand for esthetic restorations has led to the constant development of resinous materials. However, even with the evolution of these materials and the improvement of the adhesive procedure, dental adhesive restorations fail in the long term. The dentin-restoration interface is susceptible to degradation, with two main mechanisms related to both hydrolysis and proteolysis. The aim in this study was, through a literature review, to approach and discuss mechanisms related to the degradation of adhesive interface and alternative techniques to minimize the degradation of bonding interface to dentin in direct adhesive restorations. The strategies are based on improving the impregnation of adhesive in the demineralized dentin, increasing the resistance of the polymer formed by the adhesive systems and the resistance of the collagen fibrils to the enzymatic degradation. Thus, if these techniques are used to minimize the degradation of the bonding interface to dentine in direct adhesive restorations, a greater clinical longevity is expected.

Descriptors: Dentin-Bonding Agents; Dental Restoration Failure; Protease Inhibitors.

Resumen

La gran demanda de restauraciones estéticas ha propiciado el desarrollo constante de materiales resinosos. Sin embargo, incluso con la evolución de estos materiales y el perfeccionamiento del procedimiento de adhesión, las restauraciones dentales adhesivas fallan a largo plazo. La interfaz de unión dentina-restauración es pasible de degradación, siendo dos los principales mecanismos relacionados a la hidrólisis y la proteólisis. El objetivo en este estudio fue, por medio de una revisión de la literatura, abordar y discutir los mecanismos relacionados a la degradación de la interfaz adhesiva y técnicas alternativas para minimizar la degradación de la interfaz de unión a la dentina en restauraciones adhesivas directas. Las estrategias se basan en mejorar la impregnación del adhesivo en la dentina desmineralizada, aumentar la resistencia del polímero formado por los sistemas adhesivos y la resistencia de las fibrilas colágenas a la degradación enzimática. De esta forma, si estas técnicas se utilizan con el objetivo de minimizar la degradación de la interfaz de unión a la dentina en restauraciones adhesivas directas, se espera una mayor longevidad clínica.

Descriptores: Recubrimientos Dentinarios; Fracaso de la Restauración Dental; Inhibidores de Proteasas.

INTRODUÇÃO

Os sistemas adesivos que buscam simplificar a técnica adesiva principalmente, muitas vezes não propiciam uma adesão relativamente estável e longevidade clínica, representando ainda um grande desafio a ser ultrapassado. Uma vez que, as restaurações adesivas mesmo sendo confeccionadas de forma criteriosa falham clinicamente com o tempo¹. Assim, novas técnicas de adesão têm sido estudadas com o objetivo de melhorar a durabilidade da interface dente-restauração^{2,3}.

Os sistemas adesivos têm o intuito de propiciar uma eficiente e resistente união da resina composta ao substrato dental pela formação de uma camada híbrida adequada em dentina, aumentando a longevidade do procedimento restaurador^{4,5}. Entretanto, mesmo com os avanços tecnológicos e da significativa melhoria dos adesivos, a durabilidade e estabilidade da interface resina-dentina, ainda apresenta limitação quando avaliada em longo prazo^{2,6,7}, uma vez que a diminuição na resistência de união tem sido atribuída à degradação da interface de união^{8,9}.

Na técnica adesiva com condicionamento ácido total, para que ocorra a formação da camada híbrida, a dentina condicionada deve ser mantida úmida, pois se não houver

água suficiente a rede de colágeno se colapsa e forma uma camada relativamente impermeável à infiltração do adesivo resinoso. No entanto, se houver a presença de água em excesso, a infiltração da resina é incapaz de deslocar a água por completo, tornando o ambiente propício à degradação¹⁰. Portanto, é necessário que seja feita a adequada volatilização da água residual^{11,12} e dos solventes orgânicos dos sistemas adesivos¹³ previamente à polimerização, pois a presença dos mesmos pode influenciar negativamente nas propriedades mecânicas da camada híbrida^{5,14,15}.

A redução nos valores de resistência de união da interface adesiva tem sido atribuída à deterioração combinada do colágeno exposto e dos polímeros resinosos, principalmente os monômeros mais hidrófilos¹⁶. A incompleta infiltração do monômero na zona de dentina desmineralizada tem sido reportada, tanto nos sistemas adesivos de condicionamento total como autocondicionantes, havendo a permanência de fibras colágenas expostas não impregnadas pelo adesivo e, conseqüentemente, não hibridizadas¹⁶. Estas são mais susceptíveis à degradação hidrolítica e enzimática¹⁷, resultando na nanoinfiltração e interferindo negativamente nos valores de resistência de união^{16,18}. As resinas compostas

são compostas por monômeros hidrófobos, mas os sistemas adesivos devem conter grupamentos hidrófilos, para que possam se infiltrar na rede de colágeno exposta pelo condicionamento ácido da dentina, formando assim uma união duradoura entre material restaurador e substrato dentário^{5,10}.

Com o objetivo de propiciar uma eficiente e resistente união dos sistemas adesivos ao substrato dental, pesquisadores têm proposto modificações no protocolo clínico: (1) melhorar a impregnação do adesivo na dentina desmineralizada pela aplicação com fricção vigorosa^{19,20}, aplicação de múltiplas camadas de adesivo^{21,22} e fotoativação tardia^{23,24}; (2) aumentar a resistência do polímero formado pelos sistemas adesivos pela aplicação de uma camada adesiva adicional de adesivo hidrófobo^{25,26}, prolongando o tempo de fotoativação dos adesivos^{27,28}, utilizando jato de ar aquecido²⁹, aquecendo os sistemas adesivos³⁰ e utilizando a técnica de adesão à dentina úmida com etanol³¹ e (3) aumentar a resistência das fibrilas colágenas à degradação enzimática com a utilização de digluconato de clorexidina (CHX)^{9,32}, ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA)³³, glutaraldeído (GD)³⁴ e a proantocianidina (PA)^{3,35}.

Portanto, é essencial que o profissional conheça as novas técnicas para minimizar a degradação da interface adesiva, resultando na prática clínica com maior entendimento quanto à forma de utilização dos sistemas adesivos, utilizando elementos para que o procedimento adesivo apresente melhor durabilidade e sucesso clínico em longo prazo. Sendo assim, o propósito neste estudo foi revisar a literatura sobre as diversas estratégias para minimizar a degradação da interface de união à dentina em restaurações adesivas diretas.

REVISÃO DA LITERATURA

○ Melhorar a impregnação do adesivo em dentina desmineralizada e mineralizada

Estudos^{19,20} demonstraram *in vitro* que sistemas adesivos autocondicionantes e convencionais simplificados, aplicados com fricção vigorosa na superfície dentinária, podem aumentar a resistência de união imediata e em longo prazo tanto para dentina desmineralizada seca ou úmida. A pressão mecânica aplicada durante a fricção vigorosa do sistema adesivo comprime a rede de colágeno, e o adesivo penetra na rede de colágeno colapsada quando o colágeno comprimido se expande à medida que a pressão é aliviada²⁰. Essa forma de aplicação friccional pode melhorar a difusão do monômero, enquanto solventes são evaporados de forma mais eficaz³⁶.

A aplicação de múltiplas camadas de adesivo é outra estratégia para aumentar sua capacidade de penetração na dentina desmineralizada, seja pelo aumento de monômeros disponíveis para a infiltração^{21,22}, ou pelo aumento do tempo de aplicação, uma vez que significa também mais tempo para a evaporação de solventes^{21,24}. Tem sido relatado o aumento da resistência de união e a diminuição da permeabilidade com a aplicação de até quatro camadas de adesivo²¹.

A dentina desmineralizada impregnada pelo sistema adesivo e a evaporação dos solventes são dependentes do tempo; portanto, a fotoativação tardia^{23,24} pode garantir melhor penetração dos monômeros resinosos e a evaporação mais efetiva dos solventes²⁴.

○ Aumentar a resistência do polímero formado pelos sistemas adesivos

A utilização de uma camada adicional de adesivo hidrófobo^{25,26} sobre um sistema adesivo autocondicionante de um passo ou convencional de dois passos polimerizado constitui uma maneira de reduzir a hidrofília dos adesivos simplificados, formando uma camada adesiva mais espessa, uniforme e com baixa concentração de água e solvente, reduzindo o fluxo de fluido pela interface de união.²⁶ A

aplicação de duas camadas de sistemas adesivos autocondicionantes de um passo pode ser realizada de forma segura, contudo, a aplicação de uma camada de resina hidrófoba adicional pode melhorar a resistência e qualidade da adesão na dentina e reduzir a degradação da interface de união à dentina em longo prazo²⁴.

Prolongar o tempo de fotoativação dos adesivos^{27,28}, além do recomendado pelos fabricantes, resulta em melhor polimerização e reduz a permeabilidade²⁷, melhorando o desempenho dos adesivos aos testes de resistência de união³⁷. O calor gerado pelos aparelhos de fotoativação pela exposição prolongada pode aumentar o nível de evaporação dos solventes, o que resulta em melhores propriedades físico-mecânicas³⁷.

A presença de solventes orgânicos nos sistemas adesivos é o principal fator que afeta a sua manipulação e desempenho¹⁴. É necessária efetiva volatilização da água e de solventes antes da polimerização, para que ocorra o processo de hibridização com qualidade^{5,15,38}. A utilização de jato de ar aquecido²⁹ para volatilização de solventes do sistema adesivo tem sido objeto de estudos com resultados promissores devido à elevação da temperatura do material³⁹, elevando consideravelmente a evaporação dos solventes³¹, aumentando as propriedades físico-mecânicas³⁹ e melhorando a estabilidade da camada híbrida formada, pela formação de uma camada adesiva mais homogênea e resistente⁴⁰.

Os sistemas adesivos são compostos principalmente de monômeros, uma elevação na temperatura pelo pré-aquecimento dos sistemas adesivos poderia aumentar a adesão à dentina pela diminuição da viscosidade e pela maior mobilidade dos radicais livres e das cadeias poliméricas em formação³⁰. Apesar de ser adesivo-dependente, em geral o pré-aquecimento dos sistemas adesivos melhora a qualidade da camada híbrida pela redução na quantidade de poros, reduz a espessura da camada de adesivo e aumenta o grau de conversão³⁰.

A remoção da água da dentina desmineralizada pode ser realizada pela desidratação com solventes anidros voláteis sem provocar o colapso excessivo das fibrilas de colágeno expostas pelo condicionamento ácido, o que mantém tal substrato expandido e ao mesmo tempo livre de água^{14,41}, apto a ser infiltrado pelos monômeros resinosos do adesivo. A formação de uma matriz colágena relativamente hidrófoba, pela remoção de água do substrato diminui a hidrólise da interface adesiva, permitindo que haja infiltração dos monômeros resinosos e formação da camada híbrida mais estável^{14,41}. Os espaços interfibrilares da camada híbrida se apresentaram melhor preenchidos pelo adesivo nos casos em que a matriz de dentina desmineralizada foi saturada com técnica de adesão à dentina úmida com etanol³¹.

○ Aumentar a resistência das fibrilas colágenas à degradação enzimática

As metaloproteinases da matriz (MMPs) têm sido amplamente estudadas, e inibidores de MMPs têm sido utilizados como agentes de pré-tratamento da dentina previamente ao procedimento adesivo para reduzir a degradação do colágeno e melhorar a resistência de união. Estudos^{9,17} demonstram que um dos mecanismos de degradação da interface adesiva pode ser causado pelo condicionamento ácido da dentina e posterior aplicação do adesivo, que ativa as MMPs, as quais possuem atividade enzimática e degradam as fibrilas de colágeno tipo I da camada híbrida,⁴² estando envolvidas na degradação da camada híbrida ao longo do tempo^{8,17,43}.

De acordo com algumas pesquisas a atividade colagenolítica das MMPs pode ser eliminada/reduzida por inibidores de proteases, em médio e longo prazo, como a CHX;^{9,32} quando aplicada na superfície dentinária após o condicionamento ácido,⁴⁴⁻⁴⁶ propicia melhora da integridade da camada híbrida e resistência de união.^{9,47} Estudos

demonstram que a CHX, um inibidor efetivo de protease, é capaz de inibir a atividade degradativa das MMPs presentes na dentina humana, principalmente na forma de MMP-2 e MMP-9^{9,17,48,49}. Estudos *in vivo*^{32,50} e *in vitro*^{9,47,51-53} propuseram a melhora na integridade da camada híbrida e na estabilidade da união em longo prazo,^{9,54} além de aumentar os valores de resistência de união^{47,48,55} e diminuir a nanoinfiltração⁴⁷.

Resultados satisfatórios de resistência de união foram obtidos *in vitro* com a dentina pré-tratada com EDTA como agente desmineralizante³³. De acordo com os autores, o EDTA é capaz de dissolver a fase mineral da dentina sem alterar suas proteínas, permanecendo mineral interfibrilar, ficando a dentina desmineralizada menos sensível à desidratação comparada quando a mesma é tratada com ácido fosfórico. Além disso, a desmineralização é menos profunda, o que favorece a infiltração resinosa na matriz colágena desmineralizada e resulta em menor quantidade de colágeno desprotegido, associado a este fato o mineral residual nas fibras colágenas aumenta a estabilidade da matriz orgânica e melhora a qualidade da camada híbrida e sua durabilidade³³.

A aplicação de agentes químicos para o reforço das fibrilas colágenas desmineralizadas pelo uso de agentes de ligações cruzadas do colágeno tem sido estudada.³⁴ O GD tem propriedades dessensibilizantes, além de ser um potente agente antimicrobiano e reticulante, conhecido por melhorar a resistência da matriz de colágeno e reduzir à degradação enzimática pelas colagenase endógenas da dentina^{34,56-58}.

Outro agente de ligação cruzada utilizado é a PA, que é um metabólito natural provenientes de plantas, frutas, vegetais, nozes, sementes, flores e caules, e prevalentes em extratos de casca de pinheiros, ulmeiros e sementes de uva. É um formador de ligação cruzada natural de baixa citotoxicidade, capaz de interagir com proteínas ricas em prolina, como o colágeno³⁵. Tem sido relatado que a aplicação de PA no colágeno³⁵ (extraída de semente de uva) na dentina desmineralizada apresenta resultados significativos tanto no aumento das propriedades mecânicas como na resistência à degradação enzimática da interface adesiva⁵⁹.

DISCUSSÃO

Com o objetivo de proporcionar uma eficiente e resistente união dos sistemas adesivos ao substrato dental, diversos pesquisadores têm proposto modificações no protocolo clínico dos sistemas adesivos para melhorar a impregnação do adesivo em dentina, a resistência do polímero formado pelos sistemas adesivos e a resistência das fibrilas colágenas à degradação enzimática^{2,3}.

A força aplicada durante a fricção vigorosa do sistema adesivo comprime a rede de colágeno^{19,20}, ao se expandir à medida que a pressão é aliviada, o adesivo é deslocado para dentro da rede de colágeno colapsada²⁰. Essa forma de aplicação friccional pode melhorar a difusão do monômero, enquanto solventes são evaporados mais eficazmente³⁶.

Sistemas adesivos simplificados podem atuar como membranas semipermeáveis, assim aplicação de uma camada de adesivo resulta em baixa resistência de união e alta permeabilidade, enquanto uma segunda camada ou aplicação de quatro camadas aumenta significativamente a adesão e diminui a permeabilidade²¹. A aplicação de múltiplas camadas aumenta a capacidade de penetração na dentina desmineralizada, pelo aumento da quantidade de monômeros disponíveis para a infiltração ou do tempo de aplicação, o que proporciona mais tempo para a evaporação de solventes^{21,22,24}.

Uma camada adesiva adicional de uma camada de resina hidrófoba sobre um sistema adesivo autocondicionante de um passo ou convencional de dois passos polimerizado é uma forma de reduzir a hidrofília dos adesivos simplificados, formando uma camada adesiva mais espessa, uniforme, com baixa concentração de água e solvente, consequentemente

reduzindo o fluxo de fluido pela interface de união^{25,27}. A aplicação de uma camada de resina hidrófoba pode aumentar a resistência e qualidade da adesão na dentina²⁴.

Para minimizar a degradação uma das alternativas é prolongar o tempo de fotoativação dos adesivos além do preconizado pelos fabricantes^{27,28}, resultando em melhor polimerização e redução da permeabilidade²⁷, melhorando a adesão.³⁷ O calor gerado pelos aparelhos de fotoativação pelo maior tempo de exposição, pode aumentar os níveis de evaporação dos solventes³⁷.

A presença de solventes orgânicos nos sistemas adesivos após sua fotoativação é o principal fator que afeta a sua manipulação e desempenho¹⁴. É necessária efetiva volatilização da água e de solventes, antes da polimerização para que ocorra o processo de hibridização de qualidade^{5,15,38}. A utilização de jato de ar aquecido²⁹ para volatilização do sistema adesivo, devido à elevação da temperatura do material^{30,39} aumenta consideravelmente a evaporação dos solventes,³¹ melhorando as propriedades físico-mecânicas⁴¹ e reforçando a camada híbrida.⁴⁰ Além disso, a elevação na temperatura por meio do pré-aquecimento dos sistemas adesivos pode melhorar a performance dos adesivos.³⁰

Uma maneira de desidratar a dentina sem provocar o colapso das fibrilas de colágeno expostas após o condicionamento ácido é tratar a matriz dentinária com solventes anidros que sejam capazes de manter tal substrato expandido e ao mesmo tempo livre de água;^{14,41} apto a ser infiltrado pelos monômeros resinosos do sistema de união. Assim, cria-se uma matriz colágena mais hidrófoba, pela remoção de água do substrato, diminuindo a hidrólise da interface adesiva, permitindo que haja infiltração dos monômeros resinosos e formação da camada híbrida.^{14,41} Os espaços interfibrilares da camada híbrida se apresentaram melhor preenchidos pela resina do adesivo nos casos em que a matriz de dentina desmineralizada foi saturada com técnica de adesão à dentina úmida com etanol.³¹

A CHX em concentração de 2 e 0,2% é considerado um inibidor de protease^{9,32}, aplicado na superfície dentinária após condicionamento ácido⁴⁴⁻⁴⁶ capaz de inibir a atividade degradativa das MMPs presentes na dentina humana, na forma de MMP-2, -8 e -9.^{9,17,48,49} Estudos *in vivo*^{3,32,50} e *in vitro*^{9,47,51-53} relatam a melhora na integridade da camada híbrida e na estabilidade da união^{9,47}, indicando que a inibição de MMPs pode preservar sua integridade^{9,54}, além de aumentar os valores de resistência de união^{48,55}, proporcionando melhora da integridade da camada híbrida e resistência de união^{9,47,52}, oferecendo uma alternativa valiosa para os clínicos que buscam retardar o processo de degradação.

O condicionamento da dentina com EDTA propicia uma infiltração resinosa mais efetiva na matriz colágena desmineralizada; por ser um agente desmineralizante mais fraco quando comparado ao ácido fosfórico, desmineraliza menos, o que reduz a zona de colágeno desprotegido e não infiltrado pelo adesivo em regiões mais profundas, reduzindo a degradação hidrolítica e proteolítica³³. Aliado a este fato, a presença de mineral interfibrilar após a aplicação do EDTA, resulta em menor susceptibilidade à desidratação das fibras colágenas desmineralizadas, melhorando a estabilidade interface adesiva³³. No entanto, são necessários mais estudos para determinar a estabilidade deste pré-tratamento.

O GD é um potente inibidor da atividade de MMP em matrizes de dentina, tem propriedades dessensibilizantes, antimicrobianas e reticulantes, com propriedades para melhorar a resistência de matrizes de colágeno à degradação enzimática por colagenases^{34,56-58}, contribuindo para uma maior durabilidade das ligações resina-dentina.

A PA como um agente natural formador de ligações cruzadas na matriz de colágeno desmineralizada tem capacidade de inibir a produção e a ativação das MMPs, com

propriedades antimicrobianas, baixa toxicidade, baixo custo e fácil obtenção, uma vez que é proveniente de sementes ou frutas encontradas na natureza. A aplicação de PA³⁵ na dentina desmineralizada apresenta resultados significativos tanto no aumento das propriedades mecânicas como da resistência à degradação enzimática da interface adesiva⁵⁹, mas o tempo de aplicação ainda não é viável clinicamente.

CONCLUSÃO

O conhecimento dessas estratégias e a influência que o substrato dental pode exercer sobre o sistema adesivo fazem parte dos cuidados necessários para o sucesso da adesão. Desta forma, o pré-tratamento da dentina com clorexidina por 30-60 s poderia melhorar a resistência à degradação enzimática; a aplicação vigorosa de pelo menos duas camadas de sistemas adesivos simplificados e a fotoativação tardia após cerca de 1 min melhoraria a infiltração resinosa; e um maior tempo de volatilização dos solventes e a fotoativação por 20 s aumentaria a resistência do polímero; técnicas estas passíveis de serem realizadas clinicamente num tempo razoável, com melhora na estabilidade da interface de união e longevidade das restaurações adesivas diretas.

REFERÊNCIAS

1. Carvalho RM, Carrilho MRO, Pereira LCG, Garcia FCP, Marquezini Júnior L, Andrade SM et al. Sistemas adesivos: fundamentos para aplicação clínica. *Biodonto*. 2004; 2(1):1-86.
2. Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A, Cadenaro M, Di Lenarda R, De Stefano Dorigo E. Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface. *Dent Mater*. 2008; 24(1):90-101.
3. Reis A, Carrilho M, Breschi L, Loguercio AD. Overview of clinical alternatives to minimize the degradation of the resin-dentin bonds. *Oper Dent*. 2013; 38(4):103-127.
4. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res*. 1982; 16(3):265-73.
5. De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, Van Meerbeek B et al. A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: Methods and results. *J Dent Res*. 2005; 84(2):118-32.
6. Liu Y, Tjäderhane L, Breschi L, Mazzoni A, Li N, Mao J et al. Limitations in bonding to dentin and experimental strategies to prevent bond degradation. *J Dent Res*. 2011; 90(8):953-68.
7. Carvalho RM, Manso AP, Geraldini S, Tay FR, Pashley DH. Durability of bonds and clinical success of adhesive restorations. *Dent Mater*. 2012; 28(1):72-86.
8. Hashimoto M, Ohno H, Sano H, Kaga M, Oguchi H. In vitro degradation of resin-dentin bonds analyzed by microtensile bond test, scanning and transmission electron microscopy. *Biomaterials*. 2003; 24(21):3795-803.
9. Carrilho MR, Geraldini S, Tay F, de Goes MF, Carvalho RM, Tjäderhane L et al. In vivo preservation of the hybrid layer by chlorhexidine. *J Dent Res*. 2007; 86(6):529-33.
10. Pereira PN, Bedran-de-Castro AK, Duarte WR, Yamauchi M. Removal of noncollagenous components affects dentin bonding. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2007; 80(1):86-91.
11. Tay FR, Pashley DH. Have dentin adhesives become too hydrophilic? *J Can Dent Assoc*. 2003; 69(11):724-31.
12. Agee KA, Prakki A, Abu-Hamed T, Naguib GH, Nawareg MA, Tezvergil-Mutluay A et al. Water distribution in dentin matrices: bound vs. unbound water. *Dent Mater*. 2015; 31(3):205-16.
13. Holmes RG, Rueggeberg FA, Callan RS, Caughman F, Chan DC, Pashley DH et al. Effect of solvent type and content on monomer conversion of a model resin system as a thin film. *Dent Mater*. 2007; 23(12):1506-12.
14. Carvalho RM, Mendonça JS, Santiago SL, Silveira RR, Garcia FC, Tay FR et al. Effects of HEMA/solvent combinations on bond strength to dentin. *J Dent Res*. 2003; 82(8):597-601.
15. Giannini M, Arrais CA, Vermelho PM, Reis RS, dos Santos LP, Leite ER. Effects of the solvent evaporation technique on the degree of conversion of one-bottle adhesive systems. *Oper Dent*. 2008; 33(2):149-54.
16. Carvalho RM, Chersoni S, Frankenberger R, Pashley DH, Prati C, Tay FR. A challenge to the conventional wisdom that simultaneous etching and resin infiltration always occurs in self-etch adhesives. *Biomaterials*. 2005; 26(9):1035-42.
17. Pashley DH, Tay FR, Yu C, Hashimoto M, Breschi L, Carvalho RM et al. Collagen degradation by host-derived enzymes during aging. *J Dent Res*. 2004; 83(3):216-21.
18. Marquezini M, Skupien JA, da Silveira BL, Ciamponi A. Nanoleakage related to bond strength in RM-GIC and adhesive restorations. *Eur Arch of Paediatr Dent*. 2011; 12(1):15-21.
19. Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Sano H, Endo K, Oguchi H. The extent to which resin can infiltrate dentin by acetone-based adhesives. *J Dent Res*. 2002; 81(1):74-8.
20. Reis A, Pellizzaro A, Dal-Bianco K, Gones OM, Patzlaff R, Loguercio AD. Impact of adhesive application to wet and dry dentin on long-term resin-dentin bond strengths. *Oper Dent*. 2007; 32(4):380-7.
21. Carvalho EM, Stanislawczuk R, Costa T, Moura SK, Loguercio A, Bauer J. Multiple Adhesive Layering Influence on Dentin Bonding and Permeability. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2017; 25(1):2-8.
22. Ito S, Hashimoto M, Wadgaonkar B, Svizero N, Carvalho RM, Yiu C, et al. Effects of resin hydrophilicity on water sorption and changes in modulus of elasticity. *Biomaterials*. 2005; 26(33):6449-59.
23. Cardoso PC, Loguercio AD, Vieira LC, Baratieri LN, Reis A. Effect of prolonged application times on resin-dentin bond strengths. *J Adhes Dent*. 2005; 7(2):143-9.
24. Reis A, Albuquerque M, Pegoraro M, Mattei G, Bauer JR, Grande RH et al. Can the durability of one-step self-etch adhesives be improved by double application or by an extra layer of hydrophobic resin? *J Dent*. 2008; 36(5):309-15.
25. King NM, Tay FR, Pashley DH, Hashimoto M, Ito S, Brackett WW, et al. Conversion of one-step to two-step self-etch adhesives for improved efficacy and extended application. *Am J Dent*. 2005; 18(2):126-34.
26. Andrade e Silva SM, Carrilho MR, Marquezini L Jr, Garcia FC, Manso AP, Alves MC, et al. Effect of an additional hydrophilic versus hydrophobic coat on the quality of dentinal sealing provided by two-step etch-and-rinse adhesives. *J Appl Oral Sci*. 2009; 17(3):184-9.
27. Cadenaro M, Antonioli F, Sauro S, Tay FR, Di Lenarda R, Prati C, et al. Degree of conversion and permeability of dental adhesives. *Eur J Oral Sci*. 2005; 113(6):525-30.
28. Breschi L, Cadenaro M, Antonioli F, Sauro S, Biasotto M, Prati C et al. Polymerization kinetics of dental adhesives cured with LED: correlation between extent of conversion and permeability. *Dent Mater*. 2007; 23(9):1066-72.
29. Klein-Júnior CA, Zander-Grande C, Amaral R, Stanislawczuk R, Garcia EJ, Baumhardt Neto R, et al. Evaporating solvents with a warm air-stream: effects on adhesive layer properties and resin-dentin bond strengths. *J Dent*. 2008; 36(8):618-25.
30. Loguercio AD, Salvalaggio D, Piva AE, Klein-Júnior CA, Accorinte ML, Meier MM, Grande RH, Reis A.

- Adhesive temperature: effects on adhesive properties and resin-dentin bond strength. *Oper Dent.* 2011; 36(3):293-303.
31. Sadek FT, Castellan CS, Braga RR, Mai S, Tjäderhane L, Pashley DH et al. One-year stability of resin-dentin bonds created with a hydrophobic ethanol-wet bonding technique. *Dent Mater.* 2010; 26(4):380-6.
 32. Hebling J, Pashley DH, Tjäderhane L, Tay FR. Chlorhexidine arrests subclinical degradation of dentin hybrid layers in vivo. *J Dent Res.* 2005; 84(8):741-6.
 33. Osorio R, Erhardt MC, Pimenta LA, Osorio E, Toledano M. EDTA treatment improves resin-dentin bonds' resistance to degradation. *J Dent Res.* 2005; 84(8):736-40.
 34. Castellan CS, Pereira PN, Grande RH, Bedran-Russo AK. Mechanical characterization of proanthocyanidin dentin matrix interaction. *Dent Mater.* 2010; 26(10):968-73.
 35. Bedran-Russo AK, Pauli GF, Chen SN, McAlpine J, Castellan CS, Phansalkar RS et al. Dentin biomodification: strategies, renewable resources and clinical applications. *Dent Mater.* 2014; 30(1):62-76.
 36. Loguercio AD, Raffo J, Bassani F, Balestrini H, Santo D, do Amaral RC et al. 24-month clinical evaluation in non-carious cervical lesions of a two-step etch-and-rinse adhesive applied using a rubbing motion. *Clin Oral Investig.* 2011; 15(4):589-96.
 37. Reis A, Ferreira SQ, Costa TR, Klein-Junior CA, Meier MM, Loguercio AD. Effects of increased exposure times of simplified etch-and-rinse adhesives on the degradation of resin-dentin bonds and quality of the polymer network. *Eur J Oral Sci.* 2010; 118(5):502-9.
 38. Marchesi G, Navarra CO, Cadenaro M, Carrilho MR, Codan B, Sergio V et al. The effect of ageing on the elastic modulus and degree of conversion of two multistep adhesive systems. *Eur J Oral Sci.* 2010; 118(3):304-10.
 39. Araújo LSN. Efeito de diferentes tempos e temperaturas de volatilização de solventes sobre o grau de conversão e propriedades mecânicas de sistemas adesivos dentinários. Dissertação de Mestrado em Clínica Odontológica. Piracicaba: Universidade Estadual de Campinas; 2011.
 40. Matuda LS, Marchi GM, Aguiar TR, Leme AA, Ambrosano GM, Bedran-Russo AK. Dental adhesives and strategies for displacement of water/solvents from collagen fibrils. *Dent Mater.* 2016; 32(6):723-31.
 41. Agee KA, Becker TD, Joyce AP, Rueggeberg FA, Borke JL, Waller JL et al. Net expansion of dried demineralized dentin matrix produced by monomer/alcohol saturation and solvent evaporation. *J. Biomed. Mater Res A.* 2006; 79(2):349-58.
 42. Nishitani Y, Yoshiyama M, Wadgaonkar B, Breschi L, Mannello F, Mazzoni A et al. Activation of gelatinolytic/collagenolytic activity in dentin by self-etching adhesives. *Eur J Oral Sci.* 2006; 114(2):160-6.
 43. Tjäderhane L, Nascimento FD, Breschi L, Mazzoni A, Tersariol IL, Geraldini S et al. Optimizing dentin bond durability: control of collagen degradation by matrix metalloproteinases and cysteine cathepsins. *Dent Mater.* 2013; 29(1):116-35.
 44. Pilo R, Cardash HS, Oz-Ari B, Ben-Amar A. Effect of preliminary treatment of the dentin surface on the shear bond strength of resin composite to dentin. *Oper Dent.* 2001; 26(6): 569-75.
 45. de Castro FL, de Andrade MF, Duarte Junior SL, Vaz LG, Ahid FJ. Effect of 2% chlorhexidine on microtensile bond strength of composite to dentin. *J Adhes Dent.* 2003; 5(2):129-38.
 46. Say EC, Koray F, Tarim B, Soyman M, Gulmez T. In vitro effect of cavity disinfectants on the bond strength of dentin bonding systems. *Quintessence Int.* 2004; 35(1):56-60.
 47. Breschi L, Mazzoni A, Nato F, Carrilho M, Visintini E, Tjäderhane L et al. Chlorhexidine stabilizes the adhesive interface: a 2-year in vitro study. *Dent Mater.* 2010; 26(4):320-5.
 48. Loguercio AD, Stanislawczuk R, Polli LG, Costa JA, Michel MD, Reis A. Influence of chlorhexidine digluconate concentration and application time on resin-dentin bond strength durability. *Eur J Oral Sci.* 2009; 117(5):587-96.
 49. Perdigão J. Dentin bonding-variables related to the clinical situation and the substrate treatment. *Dent Mater.* 2010; 26(2):24-37.
 50. Brackett MG, Tay FR, Brackett WW, Dib A, Dipp FA, Mai S et al. *In Vivo* chlorhexidine stabilization of hybrid layers of acetone-based dentin adhesive. *Oper Dent.* 2009; 34(4):379-83.
 51. Breschi L, Cammelli F, Visintini E, Mazzoni A, Vita F, Carrilho M et al. Influence of chlorhexidine concentration on the durability of etch-and-rinse dentin bonds: a 12-month in vitro study. *J Adhes Dent.* 2009; 11(3):191-8.
 52. Komori PC, Pashley DH, Tjäderhane L, Breschi L, Mazzoni A, de Goes MF et al. Effect of 2% chlorhexidine digluconate on the Bond strength to normal versus caries-affected dentin. *Oper Dent.* 2009; 34(2):157-65.
 53. Carrilho MR, Carvalho RM, Sousa EN, Nicolau J, Breschi L, Mazzoni A et al. Substantivity of Chlorhexidine to human dentin. *Dent Mater.* 2010; 26(8):779-85.
 54. Brackett WW, Tay FR, Brackett MG, Dib A, Sword RJ, Pashley DH. The effect of chlorhexidine on dentin hybrid layers *in vivo*. *Oper Dent.* 2007; 32(2):107-11.
 55. Campos EA, Correr GM, Leonardi DP, Barato-Filho F, Gonzaga CC, Zielak JC. Chlorhexidine diminishes the loss of bond strength over time under simulated pulpal pressure and thermo-mechanical stressing. *J Dent.* 2009; 37(2):108-14.
 56. Avila MY, Navia JL. Effect of genipin collagen crosslinking on porcine corneas. *J Cataract Refract Surg.* 2010; 36(4):659-64.
 57. Ma DH, Lai JY, Cheng HY, Tsai CC, Yeh LK. Carbodiimide cross-linked amniotic membranes for cultivation of limbal epithelial cells. *Biomaterials.* 2010; 31(25):6647-58.
 58. Sabatini C, Scheffel DL, Scheffel RH, Agee KA, Rouch K, Takahashi M et al. Inhibition of endogenous human dentin MMPs by Gluma. *Dent Mater.* 2014; 30(7):752-8.
 59. Liu Y, Chen M, Yao X, Xu C, Zhang Y, Wang Y. Enhancement in dentin collagen's biological stability after proanthocyanidins treatment in clinically relevant time periods. *Dent Mater.* 2013; 29(4):485-92.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

AUTOR PARA CORRESPONDÊNCIA

Anderson Catelan
ander.catelan@gmail.com

Submetido em 15/12/2017

Aceito em 17/01/2018