

Degradação das interfaces resina-dentina: uma revisão da literatura

*André Figueiredo REIS^a, Alessandra CASSONI^a, Marcos KIRIHATA^b,
Adriano da Silva Pereira SAPATA^b, Ricardo Antônio Franco Lapin ATUÍ^b,
Patrícia Nóbrega Rodrigues PEREIRA^c, Marcelo GIANNINI^d*

^a*Departamento de Dentística, Faculdade de Odontologia, Universidade Guarulhos,
07023-070 Guarulhos - SP, Brasil*

^b*Aluno de Mestrado, Centro de Pós-Graduação Pesquisa e Extensão,
Departamento de Dentística, Faculdade de Odontologia, Universidade Guarulhos,
07023-070 Guarulhos - SP, Brasil*

^c*Department of Operative Dentistry, University of North Carolina at Chapel Hill*

^d*Departamento de Odontologia Restauradora, Faculdade de Odontologia - UNICAMP,
13414-903 Piracicaba - SP, Brasil*

Reis AF, Cassoni A, Kirihata M, Sapata ASP, Atuí RAFL, Pereira PNR, Giannini M. Degradation of resin-dentin interfaces: a literature review. Rev Odontol UNESP. 2006; 35 (3): 191-99.

Resumo: Restaurações adesivas vêm sendo amplamente utilizadas em diversos procedimentos odontológicos na atualidade. Diversas pesquisas demonstram uma união satisfatória dos materiais resinosos à dentina, principalmente logo após sua aplicação. No entanto, a efetividade dos procedimentos restauradores adesivos promovida por diferentes protocolos de aplicação tem sido questionada com relação à durabilidade da união ao substrato dentinário. A degradação da união, atribuída principalmente à hidrólise dos componentes resinosos e à digestão enzimática dos constituintes da interface, tem se mostrado mais severa para alguns sistemas adesivos do que para outros. O objetivo desta revisão de literatura foi abordar os possíveis mecanismos de degradação das interfaces resina-dentina obtidas com os diferentes protocolos de aplicação disponíveis atualmente. Foram analisadas as diferentes metodologias para estudar o comportamento das interfaces ao longo do tempo. Os estudos das propriedades físico-mecânicas das interfaces e da nanoinfiltração têm se mostrado ferramentas importantes para estimar a longevidade dos adesivos no meio oral. Os trabalhos mostram que a nanoinfiltração ocorre com diferentes severidades, mas praticamente em todos os adesivos. A maioria dos materiais mostra-se eficiente logo após a sua aplicação; no entanto, o comportamento da união ao longo do tempo ante a presença de água varia consideravelmente. Os adesivos autocondicionantes de passo único são os mais susceptíveis à degradação após armazenagem em água. De acordo com os trabalhos revistos, concluiu-se que a degradação da união está relacionada à hidrofília dos materiais.

Palavras-chave: *Adesivos dentinários; degradação; dentina.*

Abstract: Adhesive restorations have been increasingly used in many dental procedures in the latest years. Several studies have demonstrated an effective bonding to dentin, especially immediately after application. However, the effectiveness of adhesive restorative procedures has been questioned with regard to the durability of the bond to dentin substrate. Degradation of bonds has been attributed to hydrolysis of resinous components or to enzymatic digestion of the resin-dentin interface, and has been shown to occur in different rates for different adhesive systems. The aim of this literature review was to examine the possible degradation mechanisms of resin-dentin interfaces obtained with currently available adhesive systems of different application protocols. Different methods for studying resin-dentin interfaces behavior over time were examined. The studies of interfaces physicochemical properties and nanoleakage patterns have been proven to be important tools for predicting the long-term behavior of adhesive systems in the oral environment. The studies have demonstrated that no adhesive system is able of totally preventing nanoleakage. Most adhesives proved to be effective right after application; however, the behavior of bonded

interfaces after long-term water-storage varies considerably. Single-step self-etching adhesives are the most susceptible to degradation after storage in water. Based on the studies analyzed it can be concluded that degradation of bonds is related to the hydrophilicity of the materials.

Keywords: *Dentin bonding agents; degradation; dentin.*

Introdução

Entre as opções restauradoras, materiais poliméricos como os sistemas adesivos e os compósitos têm sofrido constantes melhorias nas suas propriedades físicas, mecânicas, estéticas e de manipulação, atraindo o interesse de clínicos e pesquisadores. O principal objetivo da Odontologia restauradora adesiva é a promoção de um selamento marginal durável e efetivo dos tecidos dentais. Diversos estudos foram, têm sido e serão realizados com o intuito de desvendar os mecanismos da união aos substratos dentais e de desenvolver técnicas e biomateriais capazes de mimetizar e substituir de forma duradoura a estrutura dental perdida.

As observações associadas de diversas pesquisas trouxeram a Odontologia para a era adesiva e contribuíram para a prática de uma Odontologia mais conservadora que também busca recuperar a aparência natural e a estética do sorriso¹⁻⁵. Atualmente, os sistemas adesivos são indicados em diversas situações, entre elas: restaurações estéticas de lesões cáries; alteração de forma, cor e comprimento dos dentes; colagem de fragmentos; adesão de restaurações indiretas; selantes de fôssulas e fissuras; fixação de braquetes ortodônticos; reparo de restaurações; reconstrução de núcleo para coroas; cimentação de retentores intra-radulares; reforço interno de raízes frágeis; e dessensibilização de raízes expostas.

A qualidade da adesão está diretamente relacionada à eficiência da penetração dos monômeros nos espaços interfibrilares, ao completo envolvimento pela solução adesiva das fibrilas colágenas expostas pelo condicionamento ácido e ao grau de conversão do adesivo⁶. Apesar dos avanços alcançados pelos adesivos dentinários, trabalhos apontam para uma possível degradação da união da resina composta aos tecidos dentais ao longo do tempo na presença de água⁷⁻¹⁰. A redução da resistência de união de sistemas adesivos à dentina é atribuída à degradação das fibrilas colágenas e/ou da resina adesiva¹¹. Fatores como a viscosidade da solução do adesivo e o colapso da malha de fibrilas colágenas podem dificultar a infiltração do agente de união. Somando-se a esse fato, a degradação hidrolítica dos polímeros sintéticos é um evento previsível, já que eles são naturalmente degradáveis¹². O fator que diferencia um polímero degradável de um não-degradável é o período de tempo que o processo de degradação leva para acontecer¹². A degradação de um polímero é definida como o processo de cisão da cadeia polimérica durante o qual esta é quebrada em segmentos

menores (oligômeros) e, em circunstâncias especiais, até em monômeros novamente¹³.

Apesar de ser grande o número de investigações sobre o tema, os mecanismos de degradação da interface resina-dentina ainda não foram totalmente elucidados. A adesão duradoura a um substrato vital e úmido como a dentina tem se mostrado deficiente^{14,15}. Para que se consiga uma união ao substrato dentinário com resinas adesivas, é preciso que a fase mineral seja total ou parcialmente removida e substituída pela solução do adesivo. O agente de união precisa infiltrar essa camada rica em fibrilas colágenas e polimerizar *in situ*, formando o que se denomina camada híbrida⁵.

Sabe-se que as propriedades mecânicas dos adesivos podem influenciar as propriedades da interface de união e, conseqüentemente, podem estar relacionadas com a longevidade das restaurações¹⁶. Uma vez que o mecanismo de degradação das interfaces ainda não foi totalmente elucidado e controlado, a investigação a longo prazo das propriedades físicas dos sistemas adesivos, da resistência de união e da nanoinfiltração traz informações importantes, pois os procedimentos adesivos são ferramentas indispensáveis na prática de uma Odontologia mais conservadora, além de estética.

Revisão da literatura

Técnicas de união ao substrato dentinário

Dependendo de como os três passos fundamentais de condicionamento, aplicação do *primer* e aplicação da resina adesiva são realizados ou combinados, os adesivos estão disponíveis em sistemas de três passos, dois passos ou de passo único. A adesão ao substrato dentinário pode ser realizada através de duas técnicas: condicionamento ácido prévio (técnica úmida) ou autocondicionamento. A primeira técnica baseia-se na aplicação de um ácido semiforte, como o fosfórico, para remoção da *smear layer* e desmineralização da dentina subjacente a uma profundidade de 3 a 6 μm ¹⁷. No entanto, essa técnica tem sido considerada crítica^{18,19}, pois uma infiltração deficiente pode ocorrer se a dentina estiver demasiadamente seca, ou o “*overwet phenomenon*” pode ocorrer na presença de umidade excessiva^{20,21}. Existem evidências da infiltração incompleta e da separação de fases dos monômeros adesivos, o que pode ser prejudicial à formação da união^{19,22,23}. Com o intuito de reduzir as dificuldades da técnica e simplificar os procedimentos de aplicação dos

adesivos, uma segunda técnica foi desenvolvida, na qual *primers* autocondicionantes compostos de monômeros ácidos são aplicados sobre a dentina coberta pela *smear layer* sem a necessidade de remoção do material com água subsequente. Após esses passos simultâneos de condicionamento e infiltração, uma camada de resina adesiva é então aplicada sobre a dentina tratada. Acredita-se que os sistemas adesivos autocondicionantes desmineralizam a dentina e infiltram seus monômeros simultaneamente, evitando o colapso das fibrilas de colágeno pela secagem com ar e, também, a ocorrência de fibrilas desprotegidas pela resina aplicada²⁴⁻²⁶. Recentemente, uma técnica autocondicionante de adesão, que consiste em um passo único de aplicação, foi introduzida. Os adesivos de passo único reúnem as etapas de condicionamento, infiltração e adesão em um único procedimento²⁵.

Apesar de esses sistemas de união serem comercializados como simplificados devido ao menor número de passos de aplicação, eles são, na realidade, misturas complexas de monômeros resinosos hidrófilos e hidrófobos, solventes, água e outros aditivos²⁵. Acredita-se que a absorção de água pelo polímero formado tanto na camada híbrida quanto na camada de adesivo pode contribuir para a degradação da resistência de união à dentina ao longo do tempo^{8,27}. Este fenômeno é agravado pela incorporação de quantidades ainda maiores de componentes resinosos hidrófilos nos adesivos autocondicionantes de passo único, pois hidrofília e estabilidade hidrolítica são propriedades antagônicas²⁸.

Observando os resultados obtidos com os adesivos autocondicionantes de passo único, pode-se notar que, ao aumentar a acidez da solução do adesivo, o conteúdo dos monômeros ácidos e de água são aumentados, o que resulta em maior hidrofília, conduzindo à maior taxa de sorção de água, e conseqüentemente, menor estabilidade hidrolítica^{25,28-31}. Uma característica importante dos adesivos autocondicionantes de dois passos que pode contribuir para a melhor performance desses sistemas quando comparados aos sistemas de passo único é a camada de resina hidrófoba, que é aplicada sobre o *primer* e pode reduzir a sorção de água³².

Uma redução no número de passos também ocorreu para os adesivos que utilizam o condicionamento ácido prévio. No entanto, foi demonstrado que os adesivos de dois passos estão mais susceptíveis à degradação que os sistemas de três passos⁹. A aplicação do adesivo em três passos (ácido, *primer* e adesivo) favorece a copolimerização do *primer*, e a menor hidrofília da resina polimerizada pode resultar em melhor hibridização e menor susceptibilidade à degradação hidrolítica.

Sorção de água e solubilidade dos adesivos

As diferenças na hidrofília e no conteúdo de água dos adesivos influenciam diretamente a durabilidade das inter-

faces. A presença de água tem um papel importante tanto na técnica que utiliza o condicionamento ácido prévio quanto na técnica autocondicionante³³. A água é um componente essencial nos sistemas autocondicionantes, pois ela viabiliza a ionização dos monômeros ácidos que desmineralizam o esmalte e/ou a dentina subjacente²⁵. Além de possuírem água na sua composição, os grupos ionizáveis dos monômeros ácidos são hidrófilos. Portanto, diferentes taxas de sorção de água podem ser esperadas para as interfaces de união produzidas pelos diferentes sistemas de união^{34,35}. Reis et al.³⁶ demonstraram uma tendência para o aumento tanto da sorção de água quanto da solubilidade dos sistemas adesivos com o aumento no tempo de armazenagem.

A difusão de moléculas de água para o interior de matrizes poliméricas é controlada pela Lei de Fick^{11,30}. Os padrões de absorção de água são governados por duas teorias que ocorrem simultaneamente: a teoria do “volume livre”, na qual moléculas de água se difundem através de porosidades nanométricas ou defeitos morfológicos do material sem relação mútua com os grupos polares do material, e a teoria “da interação”, na qual moléculas se difundem através do material ligando-se sucessivamente aos grupamentos hidrófilos³⁷. Existem diversos fatores envolvidos na sorção de água e na degradação dos polímeros, como: pH do meio de armazenagem^{38,39}; grau de conversão⁴⁰; polaridade da estrutura molecular e presença de grupos hidroxila capazes de formar pontes de hidrogênio com a água; quantidade de ligações cruzadas⁴¹; presença de água residual; presença e tipo de partículas de carga^{35,42,43}. Após penetrar na matriz polimérica, a água desencadeia o processo de degradação química, resultando na formação de oligômeros e monômeros. A composição das resinas adesivas utilizadas nos procedimentos restauradores é inerentemente susceptível à hidrólise¹².

As taxas de sorção de água e solubilidade apresentadas pelos sistemas adesivos após a sua polimerização são importantes na determinação indireta da longevidade e da qualidade marginal da restauração³⁴. Sabe-se que a umidade presente no meio oral ou de armazenagem tem um papel importante no processo de degradação química dos polímeros, apresentando um efeito deletério para a interface resina-dentina¹². Mesmo se não houver água presente no interior da interface durante a polimerização, a água pode se difundir para o interior do polímero^{44,45}, desencadeando a degradação hidrolítica da cadeia polimérica¹². Em alguns estudos, verificou-se que, se não há água para desafiar as interfaces ou os sistemas de união, a ocorrência da degradação é praticamente inexistente^{30,45,46}. Trabalhos demonstram uma degradação da interface de união na presença de água. Em contrapartida, na ausência de água, as propriedades das interfaces ou dos espécimes de resina permanecem inalteradas ou aumentam após armazenagem^{30,45,46}.

Nanoinfiltração

O termo “nanoinfiltração” foi introduzido para descrever a ocorrência de espaços nanométricos dentro da camada híbrida, mesmo na ausência de uma fenda na interface de união^{47,48}. Essa técnica utiliza um traçador de baixo peso molecular, como o nitrato de prata (AgNO_3), para evidenciar tais porosidades na interface. Posteriormente, esta área de união é observada em microscopia eletrônica de varredura ou de transmissão⁴⁹. A Figura 1 demonstra o aspecto da nanoinfiltração observado pelos autores tanto em Microscopia Eletrônica de Transmissão (Figura 1a) quanto em Microscopia Eletrônica de Varredura (Figura 1b). A deposição de grãos de prata na camada híbrida dos sistemas que utilizam o condicionamento ácido prévio é atribuída à existência de regiões onde as fibrilas colágenas não foram totalmente envolvidas pela resina adesiva ou onde a resina não foi adequadamente polimerizada. A degradação da união tem sido atribuída à penetração de fluidos nessas porosidades^{7,50}. Recentemente, uma nova forma de manifestação da nanoinfiltração nas interfaces foi relatada^{28,51}. A deposição de grãos de prata foi observada não só na camada híbrida, mas também na camada de adesivo, camadas de “*water-trees*” devido ao seu aspecto de manifestação^{11,52}.

Nos adesivos que utilizam o condicionamento ácido prévio, a presença dos solventes orgânicos, como o etanol e a acetona, é de fundamental importância para que ocorra a remoção da água existente na região de dentina desminerali-

zada e a substituição pela resina adesiva⁵³. Apesar desse papel crucial na infiltração dos monômeros na rede de colágeno exposta pelo condicionamento ácido, a evaporação incompleta desses solventes e da água pode ocorrer. A presença de água e solventes residuais pode interferir na polimerização dos adesivos, diminuindo a qualidade da união e permitindo a ocorrência de porosidades nanométricas na camada híbrida⁵⁴.

A ocorrência da nanoinfiltração nas interfaces resina/dentina produzidas pelos sistemas adesivos é difícil de ser evitada. A manifestação dos padrões de nanoinfiltração varia consideravelmente, dependendo principalmente da composição, do modo de aplicação dos materiais utilizados e do tempo de armazenamento dos espécimes^{31,32}. A utilização do nitrato de prata amoniacal permite a visualização não somente de regiões onde existem espaços não infiltrados pelo adesivo, mas também de grupos polares hidrófilos que permitem a formação de pontes de hidrogênio com moléculas de água^{28,48}. Inicialmente, o conceito de nanoinfiltração foi atribuído às regiões da camada híbrida que não haviam sido completamente infiltradas pela resina adesiva. Assim, não era de se esperar que a nanoinfiltração fosse observada em interfaces de união produzidas por sistemas adesivos autocondicionantes, que desmineralizam e infiltram a dentina simultaneamente. Entretanto, foi provado que esse conceito não se aplica à realidade^{26,45,55,56}. Os trabalhos demonstram a ocorrência da nanoinfiltração em interfaces produzidas tanto pela técnica do condicionamento ácido prévio quanto pela técnica autocondicionante.

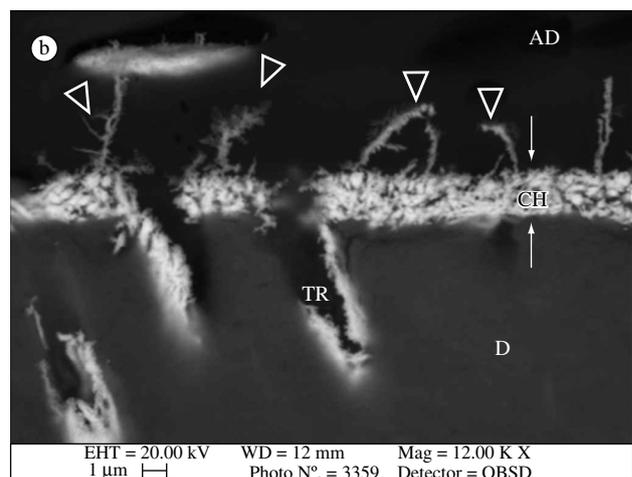
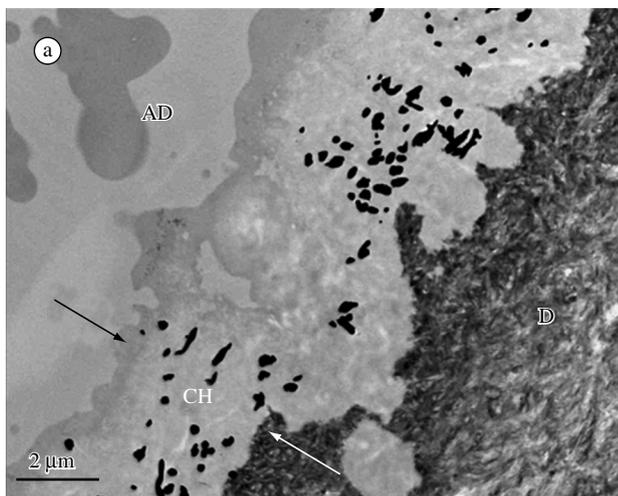


Figura 1. Aspecto da manifestação da nanoinfiltração em Microscopia Eletrônica de Transmissão e Varredura. a) Fotomicrografia eletrônica de transmissão de uma secção de 90 nm de espessura não-contrastada e não-desmineralizada, demonstrando a ocorrência de nanoinfiltração em uma interface de união produzida pelo sistema adesivo de dois passos que utiliza o condicionamento ácido prévio Single Bond (3M ESPE). Os pontos elétron-densos (pretos) representam o acúmulo de grânulos de prata na Camada Híbrida (CH); b) Fotomicrografia eletrônica de varredura demonstrando o aspecto da nanoinfiltração em uma interface de união produzida pelo adesivo auto-condicionante de passo único Adper Prompt L-POP (3M ESPE). Esta fotomicrografia foi realizada utilizando-se o microscópio eletrônico de varredura operado no modo de elétrons retroespalhados. As regiões elétron-luscentes (brancas) representam o acúmulo de grânulos de prata na Camada Híbrida (CH) e na camada de adesivo (setas).

Está claro na literatura que os adesivos autocondicionantes de passo único apresentam susceptibilidade maior à nanoinfiltração, sendo também menos resistentes à degradação hidrolítica. Entre os adesivos autocondicionantes de passo único, o adesivo Clearfil Tri-S Bond foi o que apresentou menor nanoinfiltração³¹. Todos os outros adesivos autocondicionantes de passo único apresentaram altos valores de nanoinfiltração, alguns inicialmente, outros após armazenagem em água. A nanoinfiltração observada nas interfaces produzidas pelos adesivos autocondicionantes não ocorre necessariamente pela infiltração incompleta na região de dentina desmineralizada. Esse fenômeno ocorre devido à presença de regiões dentro da matriz resinosa polimerizada das quais a água não é totalmente removida, resultando em regiões de polimerização incompleta e/ou formação de hidrogéis. A deposição de prata na camada adesiva também pode ocorrer devido à presença de monômeros ácidos, que são mais susceptíveis à absorção de água^{28,45}. Somando-se a esses fatos, a separação de fases dos componentes da solução adesiva pode contribuir para a menor qualidade da adesão verificada para alguns adesivos autocondicionantes de passo único⁵⁷. A capacidade dos sistemas adesivos de passo único de selar as superfícies dentinárias efetivamente tem sido questionada, pois eles funcionam como membranas permeáveis, permitindo a movimentação de água entre a interface e a dentina subjacente^{58,59}.

Discussão

A armazenagem de espécimes restaurados em água afeta a estabilidade da união resina-dentina em diferentes níveis para todos os sistemas de união. A busca por um agente de união que promova uma união duradoura ao substrato dentinário e seja de fácil aplicação tem sido um desafio. Além de estabilidade hidrolítica, propriedades antimicrobianas e liberação de flúor são desejáveis aos produtos aplicados nas estruturas dentais^{60,61}. A incorporação de um monômero antibacteriano no *primer* e de partículas de Fluoreto de Sódio na solução adesiva do adesivo Clearfil Protect Bond mostrou resultados promissores em relação à estabilidade da união ao longo do tempo tanto *in vitro* quanto *in vivo*^{62,63}. Esta liberação de fluoretos pode ser importante na prevenção e no controle de cáries secundárias ao redor de restaurações⁶⁴⁻⁶⁶. Especula-se que a liberação de flúor tem a finalidade de inibir a ação de algumas enzimas que poderiam agir na degradação das interfaces⁶⁵.

A composição da solução adesiva, bem como a presença de partículas de carga, podem ter participação importante na eficiência da união⁴². Os adesivos autocondicionantes (tanto os de dois passos quanto os de passo único) apresentam em sua composição um monômero funcional específico, que exerce um papel fundamental na performance do adesivo⁶⁷. Acredita-se que a fórmula molecular específica do monôme-

ro funcional e a taxa de dissolução do sal de cálcio formado com os cristais de hidroxiapatita presentes na interface influenciam a eficiência e a estabilidade da união. O potencial de interagir quimicamente com a hidroxiapatita presente na interface pode ser um auxílio importante na obtenção de uma união duradoura. Essa interação ocorre somente com adesivos autocondicionantes mais brandos, que desmineralizam a superfície dentinária parcialmente. Foi relatado que o 10-MDP, monômero funcional dos adesivos autocondicionantes de dois passos Clearfil SE Bond e Clearfil Protect Bond e do adesivo autocondicionante de passo único Clearfil Tri-S Bond, pode interagir quimicamente com a hidroxiapatita formando um sal bastante estável. Por outro lado, o potencial de união química do 4-MET, monômero funcional do adesivo autocondicionante de dois passos Unifil Bond e do adesivo de passo único i-Bond, foi descrito por Yoshida et al.⁶⁷ como substancialmente menor.

Um outro fator que pode influenciar a estabilidade hidrolítica das interfaces produzidas pelos adesivos autocondicionantes é a concentração de água na solução do *primer* ou do adesivo autocondicionante⁶⁸. Foi demonstrado que um aumento na concentração de água em *primers* autocondicionantes experimentais resultou em maior agressividade, maior nanoinfiltração e menor resistência de união quando comparada com a concentração de água ideal no *primer* autocondicionante⁶⁸. Para aumentar a agressividade da solução dos adesivos autocondicionantes, as concentrações dos monômeros ácidos e de água são aumentadas, o que resulta em maior hidrofilia e menor estabilidade hidrolítica^{25,28-31}.

De Munck et al.⁹ demonstraram uma maior estabilidade das interfaces resina-dentina quando os espécimes restaurados e armazenados em água por um período de 4 anos apresentavam uma margem de esmalte circundando toda a restauração. Essa margem de esmalte ao redor da restauração pode ajudar a proteger a interface resina-dentina contra a degradação para os sistemas adesivos que utilizam o condicionamento ácido prévio⁹. Na ausência dessa margem de esmalte, a difusão de água para o interior da interface pode ser maior, o que poderia acelerar o processo de degradação das interfaces. Nesse mesmo trabalho, os autores demonstraram que, na ausência da margem de esmalte, os adesivos de dois passos que empregam o condicionamento ácido prévio mostraram-se mais susceptíveis à degradação do que os sistemas de três passos.

Após realizarem uma extensa revisão da literatura a respeito da durabilidade da união produzida por diferentes técnicas de desmineralização e infiltração no substrato dental, De Munck et al.⁶⁹ demonstraram que a técnica mais eficiente para se produzir uma união duradoura aos tecidos dentais ainda é a técnica de três passos, que utiliza o condicionamento ácido prévio. Assim, qualquer simplificação nos procedimentos adesivos resultaria em uma redução na eficiência da união. Segundo os autores, a única técnica que

se aproxima desse padrão é a técnica autocondicionante de dois passos.

As interfaces de união resina-dentina se degradam em três estágios. Primeiro, a água é absorvida pelo polímero, desencadeando a degradação química¹². Segundo, produtos de degradação, monômeros não reagidos e oligômeros são removidos da camada híbrida e da camada de adesivo^{70,71}. Terceiro, as fibrilas de colágeno expostas podem ser degradadas por metaloproteinases (MMPs) presentes na dentina ou saliva⁷². A degradação dos materiais poliméricos sintéticos está relacionada especificamente à arquitetura da cadeia polimérica⁷³, à estrutura química, ao peso molecular, à presença de microorganismos e as condições ambientais^{74,75}. Os espaços nanométricos nas interfaces resina-dentina evidenciados pela técnica de nanoinfiltração podem ser grandes o suficiente para a passagem de enzimas⁷⁶. Hebling et al.⁷⁷ demonstraram recentemente, em um trabalho *in vivo*, que a utilização de clorexidina como inibidor de MMPs, aplicada após o condicionamento com ácido fosfórico, resultou na paralisação da degradação das camadas híbridas em dentes decíduos.

Um entendimento físico-químico dos processos de degradação e erosão dos polímeros, assim como da degradação do colágeno do tipo I, é a chave para a melhor compreensão dos problemas relacionados à longevidade das restaurações adesivas e, provavelmente, para a sua solução. Um outro aspecto importante que não pode ser negligenciado são os potenciais efeitos que os produtos de degradação liberados no meio oral podem ter sobre as funções fisiológicas humanas^{75,78}. O esforço combinado da biologia molecular e da química de polímeros poderia certamente contribuir bastante na promoção de um selamento durável dos tecidos dentais⁷⁹.

Conclusão

Com base na literatura revisada, pode-se concluir que a simplificação das técnicas de união não resultou necessariamente em uma melhora na qualidade da união aos substratos dentais. Com relação aos adesivos autocondicionantes verifica-se que, quanto menor o pH da solução adesiva, maior a hidrofília e, conseqüentemente, menor a estabilidade hidrolítica. A aplicação de uma camada de resina hidrófoba tanto para os adesivos que utilizam o condicionamento ácido prévio quanto para os adesivos que utilizam monômeros autocondicionantes, ajuda a promover uma maior estabilidade à interface resina-dentina.

Agradecimento

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), processo # BEX2462/03-6, e ao Prof. Dr. E.W. Kitajima (NAP/MEPA – ESALQ/USP) pelo suporte técnico para a realização da fotomicrografia eletrônica de varredura.

Referências

1. Buonocore MG. A simple method of increasing adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res.* 1955; 34:849-53.
2. Buonocore MG, Wileman W, Brudevold F. A report on a resin composition capable of bonding to human dentin surfaces. *J Dent Res.* 1956; 35:846-51.
3. Bowen RL. Properties of a silica reinforced polymer for dental restorations. *J Am Dent Assoc.* 1963; 66:57-64.
4. Fusayama T, Nakamura M, Kurosaki N, Masaaki I. Non-pressure adhesion of a new adhesive restorative resin. *J Dent Res.* 1979; 58:1364-70.
5. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res.* 1982; 16:265-73.
6. Pashley DH, Zhang Y, Agee KA, Rouse CJ, Carvalho RM, Russell CM. Permeability of demineralized dentin to HEMA. *Dent Mater.* 2000; 16:7-14.
7. Sano H, Yoshikawa T, Pereira PN, Kanemura N, Morigami M, Tagami J, et al. Long-term durability of dentin bonds made with a self-etching primer, *in vivo*. *J Dent Res.* 1999; 78:906-11.
8. Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Endo K, Sano H, Oguchi H. *In vivo* degradation of resin-dentin bonds in humans over 1 to 3 years. *J Dent Res.* 2000; 79:1385-91.
9. De Munck J, Van Meerbeek B, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Suzuki K, et al. Four-year water degradation of total-etch adhesives bonded to dentin. *J Dent Res.* 2003; 82:136-40.
10. Giannini M, Seixas CAM, Reis AF, Pimenta LAF. Six-month storage-time evaluation of one-bottle adhesive systems to dentin. *J Esthet Restor Dent.* 2003; 15:38-43.
11. Tay FR, Hashimoto M, Pashley DH, Peters MC, Lai SC, Yiu CK, et al. Aging affects two modes of nanoleakage expression in bonded dentin. *J Dent Res.* 2003; 82:537-41.
12. Göpferich A. Mechanisms of polymer degradation and erosion. *Biomaterials.* 1996; 17:103-14.
13. Örtengren U. On composite resin materials: degradation, erosion and possible adverse effects in dentists. *Swed Dent J.* 2000 (141 Suppl):1-61.
14. Marshall GW Jr, Marshall SJ, Kinney JH, Balooch M. The dentin substrate: structure and properties related to bonding. *J Dent.* 1997; 25:441-58.
15. Carvalho RM, Tay FR, Giannini M, Pashley DH. Effects of pre- and post-bonding hydration on bond strength to dentin. *J Adhes Dent.* 2004; 6:13-7.
16. Takahashi A, Sato Y, Uno S, Pereira PN, Sano H. Effects of mechanical properties of adhesives on bond strength to dentin. *Dent Mater.* 2002; 18:263-8.

17. Perdigão J, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Tome AR, Vanherle G, Lopes AB. Morphological field emission-SEM study of the effect of six phosphoric acid etching agents on human dentin. *Dent Mater.* 1996; 12:262-71.
18. Pereira PNR, Okuda M, Sano H, Yoshikawa T, Burrow MF, Tagami J. Effect of intrinsic wetness and regional difference on dentin bond strength. *Dent Mater.* 1999; 15:46-53.
19. Spencer P, Wang Y, Walker MP, Wieliczka DM, Swafford JR. Interfacial chemistry of the dentin/adhesive bond. *J Dent Res.* 2000; 79:1458-63.
20. Kanca J. Resin Bonding to wet substrate. I. Bonding to dentin. *Quintessence Int.* 1992; 23:39-41.
21. Tay FR, Gwinnett AJ, Wei SH. The overwet phenomenon: an optical, micromorphological study of surface moisture in the acid-conditioned, resin-dentin interface. *Am J Dent.* 1996; 9:43-8.
22. Spencer P, Swafford JR. Unprotected protein at the dentin-adhesive interface. *Quintessence Int.* 1999; 30:501-7.
23. Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Sano H, Tay FR, Oguchi H, et al. Over-etching effects on micro-tensile bond strength and failure patterns for two dentin bonding systems. *J Dent.* 2002; 30:99-105.
24. Watanabe I, Nakabayashi N, Pashley DH. Bonding to ground dentin by a Phenyl-P self-etching primer. *J Dent Res.* 1994; 73:1212-20.
25. Tay FR, Pashley DH. Aggressiveness of contemporary self-etching systems. I. Depth of penetration beyond dentin smear layers. *Dent Mater.* 2001; 17:296-308.
26. 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; 26:1035-42.
27. Tanaka J, Ishikawa K, Yatani H, Yamashita A, Suzuki K. Correlation of dentin bond durability with water absorption of bonding layer. *Dent Mater J.* 1999; 18:11-8.
28. Tay FR, Pashley DH, Yoshiyama M. Two modes of nanoleakage expression in single-step adhesives. *J Dent Res.* 2002; 81:471-6.
29. Tay FR, Pashley DH. Dentine adhesives: have they become too hydrophilic. *J Can Dent Assoc.* 2003; 69:724-31.
30. Yiu CK, King NM, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Carrilho MR, et al. Effect of resin hydrophilicity and water storage on resin strength. *Biomaterials* 2004; 25:5789-96.
31. Reis AF, Bedran-Russo AK, Giannini M, Pereira PN. Interfacial ultramorphology of single-step adhesives: nanoleakage as a function of time. *J Oral Rehabil.* 2006; 33 (in press).
32. Reis AF, Arrais CAG, Novaes PD, Carvalho RM, De Goes MF, Giannini M. Ultramorphological analysis of resin-dentin interfaces produced with water-based single-step and two-step adhesives: nanoleakage expression. *J Biomed Mater Res.* 2004; 71B:90-8.
33. Pashley DH, Carvalho RM, Tay FR, Agee KA, Lee K-W. Solvation of dried matrix by water and other polar solvents. *Am J Dent.* 2002; 15:97-102.
34. Burrow MF, Inokoshi S, Tagami J. Water sorption of several bonding resins. *Am J Dent.* 1999; 12:295-8.
35. Mortier E, Gerdolle DA, Jacquot B, Panighi MM. Importance of water sorption and solubility studies for couple bonding agent/resin-based filling material. *Oper Dent.* 2004; 29:669-76.
36. Reis AF, Giannini M, Pereira PN. Influence of water-storage time on the sorption and solubility behavior of current adhesives and primer/adhesive mixtures. *Oper Dent.* 2006; 31 (in press).
37. Bellenger V, Verdu J, Morel E. Structure-properties relationships for densely cross-linked epoxy-amine systems based on epoxide or amine mixtures. *J Mater Sci.* 1989; 24:63-8.
38. Örtengren U, Andersson F, Elgh U, Terselius B, Karlsson S. Influence of pH and storage time on the sorption and solubility behaviour of three composite resin materials. *J Dent.* 2001; 29:35-41.
39. Prakki A, Cilli R, Mondelli RF, Kalachandra S, Pereira JC. Influence of pH environment on polymer based dental material properties. *J Dent.* 2005; 33: 91-8.
40. Pearson GJ, Longman CM. Water sorption and solubility of resin-based materials following inadequate polymerization by a visible-light curing system. *J Oral Rehabil.* 1989; 16:57-61.
41. Beatty MW, Swartz ML, Moore BK, Phillips RW, Roberts TA. Effect of crosslinking agent content, monomer functionality, and repeat unit chemistry on properties of unfilled resins. *J Biomed Mater Res.* 1993; 27:403-13.
42. Tay FR, Pashley DH, Yiu C, Cheong C, Hashimoto M, Itou K, et al. Nanoleakage types and potential implications: evidence from unfilled and filled adhesives with the same resin composition. *Am J Dent.* 2004; 17:182-90.
43. Marcovich NE, Reboredo MM, Aranguren MI. Moisture diffusion in polyester-woodflour composites. *Polymer.* 1999; 40:7313-20.
44. Mohsen NM, Craig RG, Filisko FE. The effects of moisture on the dielectric relaxation of urethane dimethacrylate polymer and composites. *J Oral Rehabil.* 2001; 28:376-92.
45. Tay FR, King NM, Chan KM, Pashley DH. How can nanoleakage occur in self-etching adhesive systems that demineralize and infiltrate simultaneously? *J Adhes Dent.* 2002; 4:255-69.

46. Carrilho MR, Tay FR, Pashley DH, Tjäderhane L, Carvalho RM. Mechanical stability of resin-dentin bond components. *Dent Mater.* 2005; 21:232-41.
47. Sano H, Shono T, Takatsu T, Hosoda H. Microporous dentin zone beneath resin-impregnated layer. *Oper Dent.* 1994; 19:59-64.
48. Sano H, Takatsu T, Ciucchi B, Horner JA, Matthews WG, Pashley DH. Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. *Oper Dent.* 1995; 20:18-25.
49. Sano H, Yoshiyama M, Ebisu S, Burrow MF, Takatsu T, Ciucchi B, et al. Comparative SEM and TEM observations of nanoleakage within the hybrid layer. *Oper Dent.* 1995; 20:160-7.
50. Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Endo K, Sano H, Oguchi H. Resin-tooth adhesive interfaces after long-term function. *Am J Dent.* 2001; 14:211-5.
51. Li H, Burrow MF, Tyas MJ. Nanoleakage patterns of four dentin bonding systems. *Dent Mater.* 2000; 16:48-56.
52. Tay FR, Pashley DH. Water treeing - a potential mechanism for degradation of dentin adhesives. *Am J Dent.* 2003; 16:6-12.
53. Reis AF, Oliveira MT, Giannini M, De Goes MF, Rueggeberg FA. The effect of organic solvents on one-bottle adhesives' bond strength to enamel and dentin. *Oper Dent.* 2003; 28:700-6.
54. Pashley EL, Zhang Y, Lockwood PE, Rueggeberg FA, Pashley DH. Effects of HEMA on water evaporation from water-HEMA mixtures. *Dent Mater.* 1998; 14:6-10.
55. Pereira PN, Okuda M, Nakajima M, Sano H, Tagami J, Pashley DH. Relationship between bond strengths and nanoleakage: evaluation of a new assessment method. *Am J Dent.* 2001; 14:100-4.
56. Okuda M, Pereira PN, Nakajima M, Tagami J, Pashley DH. Long-term durability of resin dentin interface: nanoleakage vs microtensile bond strength. *Oper Dent.* 2002; 27:289-96.
57. Van Landuyt KL, De Munck J, Snauwaert J, Coutinho E, Poitevin A, Yoshida Y, et al. Monomer-solvent phase separation in one-step self-etch adhesives. *J Dent Res.* 2005; 84:183-8.
58. Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Itthagarun A. Single-step adhesives are permeable membranes. *J Dent.* 2002; 30:371-82.
59. Chersoni S, Suppa P, Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Yiu C, et al. In vivo and in vitro permeability of one-step self-etch adhesives. *J Dent Res.* 2004; 83:459-64.
60. Imazato S, Kinomoto Y, Tarumi H, Torii M, Russell RRB, McCabe JF. Incorporation of antibacterial monomer MDPB into dentin primer. *J Dent Res.* 1997; 76:768-72.
61. Saito A. Effect of fluoride in adhesion to dentin. *Japan Soc Dent Mater Dev.* 1996; 15:78-88.
62. Nakajima M, Okuda M, Ogata M, Pereira PN, Tagami J, Pashley DH. The durability of a fluoride-releasing resin adhesive system to dentin. *Oper Dent.* 2003; 28:186-92.
63. Donmez N, Belli S, Pashley DH, Tay FR. Ultrastructural correlates of in vivo/in vitro bond degradation in self-etch adhesives. *J Dent Res.* 2005; 84:355-9.
64. Tsuchiya S, Nikaido T, Sonoda H, Foxton RM, Tagami J. Ultrastructure of the dentin-adhesive interface after acid-base challenge. *J Adhes Dent.* 2004; 6:183-90.
65. Itota T, Torii Y, Nakabo S, Tashiro Y, Konishi N, Nagamine M, Yoshiyama M. Effect of fluoride-releasing adhesive system on decalcified dentin. *J Oral Rehabil.* 2003; 30:178-83.
66. Pereira PN, Inokoshi S, Tagami J. In vitro secondary caries inhibition around fluoride releasing materials. *J Dent.* 1998; 26:505-10.
67. Yoshida Y, Nagakane K, Fukuda R, Nakayama Y, Okazaki M, Shintani H, et al. Comparative study on adhesive performance of functional monomers. *J Dent Res.* 2004; 83:454-8.
68. Hiraishi N, Nishiyama N, Ikemura K, Yau JY, King NM, Tagami J, et al. Water concentration in self-etching primers affects their aggressiveness and bonding efficacy to dentin. *J Dent Res.* 2005; 84:653-8.
69. De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, Braem M, et al. A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res.* 2005; 84:118-32.
70. Hashimoto M, Ohno H, Sano H, Kaga M, Oguchi H. Degradation patterns of different adhesives and bonding procedures. *J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater.* 2003; 66B:324-30.
71. 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; 24:3795-803.
72. Pashley DH, Tay FR, Yiu C, Hashimoto M, Breschi L, Carvalho RM, et al. Collagen degradation by host-derived enzymes during aging. *J Dent Res.* 2004; 83:216-21.
73. Striegel AM. Influence of chain architecture on the mechanochemical degradation of macromolecules. *J Biochem Biophys Methods.* 2003; 56:117-39.
74. Gu J-D. Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: recent research advances. *International Biodeterioration & Biodegradation.* 2003; 52:69-91.
75. Yourtee DM, Smith RE, Russo, KA, Burmaster S, Cannon JM, Eick JD, et al. The stability of methacrylate biomaterials when enzyme challenged: kinetic and systematic evaluations. *J Biomed Mater Res.* 2001; 57:552-31.

76. Sano H. Microtensile testing, nanoleakage, and biodegradation of resin-dentin bonds. *J Dent Res.* 2006; 85:11-4.
77. Hebling J, Pashley DH, Tjaderhane L, Tay FR. Chlorhexidine arrests subclinical degradation of dentin hybrid layers in vivo. *J Dent Res.* 2005; 84:741-6.
78. Santerre JP, Shajii L, Leung BW. Relation of dental composite formulations to their degradation and the release of hydrolyzed polymeric-resin-derived products. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2001; 12:136-51.
79. Tay FR, Pashley DH. Dental adhesives of the future. *J Adhes Dent.* 2002; 4:91-103.

