UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE BAURU

RAFAEL MASSUNARI MAENOSONO

**EFEITO DA IRRADIAÇÃO COM LASER DE DÍODO SOBRE
ADESIVOS DENTINÁRIOS**

BAURU
2017

RAFAEL MASSUNARI MAENOSONO

**EFEITO DA IRRADIAÇÃO COM LASER DE DIODO SOBRE
ADESIVOS DENTINÁRIOS**

Tese apresentada a Faculdade de Odontologia de Bauru da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências no Programa de Ciências Odontológicas Aplicadas, na área de concentração Dentística.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Kiyoshi Ishikiriama

Versão Corrigida

**BAURU
2017**

M268e

Maenosono, Rafael Massunari

Efeito da irradiação com laser de Diodo sobre adesivos dentinários: estudo *in vitro* / Rafael Massunari Maenosono. – Bauru, 2017.
120 p. : il. ; 31cm.

Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Bauru. Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Kiyoshi Ishikiriama

Nota: A versão corrigida desta tese encontra-se disponível no Serviço de Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Bauru - FOB/USP

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, por processos fotocopiadores e outros meios eletrônicos.

Assinatura:

Data:

Comitê de Ética da FOB-USP
Protocolo nº: 111.666
Data: 29/06/2012

DEDICATÓRIA

Esta tese de doutorado, além de mostrar resultados de algumas pesquisas, é na verdade o resultado de uma grande transformação pessoal. Por isso, dedico este trabalho àqueles que me proporcionaram esta experiência, dando subsídios para que aqui pudesse chegar, e me manter, mesmo perante aos maiores desafios que já enfrentei.

Dedico em primeiro lugar à minha família. Base e fundamento da minha essência. Descobri recentemente que vários de meus antepassados, com muito esforço e dedicação, contribuíram diretamente para a criação de associações e cooperativas que de fato transformaram a vida de muitas pessoas. Dentre eles, meu pai, Emílio Akira Maenosono. Presidente da associação assistencial cultural esportiva de Andradina (AAACEA) em 2008, ano que teve um número atípico de eventos devido à comemoração do centenário da imigração japonesa. Além disso, há mais de 15 anos é da diretoria da associação e tem preservado a cultura por meio dos eventos educativos e festivos.

Mas além disso, meu pai é e sempre foi um pai extremamente presente. Participou diretamente de todas as decisões difíceis da minha vida, me apoiando, aconselhando, orientando. Foi meu técnico no beisebol, fase da vida em que aprendi coisas que só quem foi esportista consegue entender: o valor da dedicação, do esforço, o controle do nervosismo na hora do jogo, e, num esporte coletivo, o valor de um trabalho em equipe e o poder da liderança. Sua profissão, cirurgião-dentista. Obviamente que me inspirou a me tornar um, não só a mim mas a meu irmão também. E o que é mais interessante é que talvez agora eu tenha conseguido entender o porque ele me inspira tanto. Jamais o vi reclamar da profissão, nem um segundo sequer. Sempre com sorriso no rosto, seu sentimento de alegria e gratidão contagia a todos a sua volta, por isso torna-se um ser inspirador. *Otosan, arigatou!*

Dedico também esta tese de doutorado à minha mãe, Regina Tomie Massunari Maenosono, a grande responsável pelo equilíbrio em casa. Carinhosa e atenta, ela sempre sabe quando estamos bem ou mal, mas ainda sim sabe aguardar o momento certo para abordar qualquer assunto. Sinto que ainda não sei descrever seu verdadeiro poder, mas é algo relacionado com uma percepção aguçada e dedicação extrema à nossa família. Sempre senti que nós sempre fomos a prioridade de vocês, acho que jamais conseguirei retribuir todo o carinho e a dedicação por nós, talvez a única coisa que prometo, é que irei passar esse legado adiante, seja para filhos que um dia possa ter, mas com certeza para todas as pessoas à minha volta. Você me fez ser e querer ser uma pessoa melhor. *Okasan, arigatou!*

Dedico esta tese ao meu irmão, Edgar Massunari Maenosono. Mesmo sendo o irmão mais novo, acredito que aprendi contigo uma das coisas mais importantes da vida. Equilíbrio. Aprendi que nem tudo é produtividade. Às vezes temos que cuidar das pessoas e de nós mesmos, mesmo com o custo de ser menos produtivo, para que a felicidade e harmonia sejam possíveis. Acho que você herdou essa percepção da mãe, e com certeza sempre cuidará muito bem de quem estiver por perto. Obrigado por estar junto, me apoiando e dando forças, nos momentos que você sabe que foram dos mais difíceis que enfrentei. E saiba que poderá contar comigo sempre. Temos muito a construir juntos, então, *arigatou* e *gambarê*!

Além da minha família, dedico esta tese a meus professores. Todos, sem exceção. Professor, em japonês, chama-se *sensei*, e é escrito com dois kanjis: *sen* (先) = antes / *sei* (生) = vida. É aquele que viveu antes determinada experiência, e tem a possibilidade, a capacidade e a vontade de compartilhar. É peça fundamental da evolução humana. Do que adiantaria alguém ter descoberto a roda se não houvesse alguém que ensinasse isso às gerações seguintes? Do que adianta artigos de qualis A1 se não houver alguém que possa transmitir esse conhecimento a quem vai atuar diretamente com os pacientes? Reconheço que hoje sou a consequência de todos os *senseis* que já passaram pela minha vida, que generosamente compartilharam suas experiências para que eu pudesse evoluir. Por isso, à vocês, queridos professores, também dedico esta tese.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Faculdade de Odontologia de Bauru, querida FOB, por proporcionar à mim tamanha transformação. Há exatamente 11 anos aqui cheguei. Imaturo. Cheio de sonhos. Planos absolutamente incoerentes. E a FOB, com o carinho e o afeto que lhe são tradicionais, me acolheu como mais um de seus alunos de graduação, mais um de seus filhos.

Foram grandes desafios: anatomia, histologia, morar em república, alojamento, iniciação científica, clínicas, jornada (sim, na minha época era jornada). Mas já nesses primeiros 04 anos muitos sonhos realizados, e por isso não poderia deixar de agradecer à todas as pessoas que fizeram parte desta fase. Colegas da graduação, amigos de república, alojamento, professores, funcionários e pacientes.

Desta fase destaco algumas pessoas que transformaram minha vida: Prof^a Dr^a Ana Paula Campanelli, e Thaís, na época aluna de doutorado da imunologia. Muito obrigado por me introduzirem ao mundo acadêmico. Foi com vocês que aprendi a importância da precisão dos métodos, e como a dedicação do aluno deve ser valorizada. Em especial agradeço à você Thaís, porque além de me ensinar a cultivar macrófagos, me ensinou a cultivar sonhos, toda vez que você falava dos seus projetos. Aquilo fazia meus olhos brilharem, muito obrigado!

Outra pessoa da época de graduação que desejo agradecer foi quem não só me inspirou, mas inspirou toda minha sala, e por isso tornou-se o nome da 45ª turma de odontologia da FOB, o Prof. Dr. Sérgio Kiyoshi Ishikiriama. Sua habilidade clínica, didática, ali misturados com muita humildade, generosidade e bom humor sempre me impressionaram. Foi assim que decidi: eu queria ser você! (mais um, tenho certeza que já ouviu isso muitas vezes, mas é só quem inspira as pessoas que ouve essas coisas).

Com novos sonhos, um pouco mais de coerência nos planos, em 2010 ingressei no mestrado aqui na FOB. Imagina o tamanho da minha alegria ao descobrir que seria orientado exatamente pela pessoa que me inspirou a fazer pós-graduação em Dentística. E foi ali, logo no começo do mestrado, que o Prof. Sérgio me deu o melhor ensinamento que eu poderia receber. *“Jack, faça sempre o que é certo. De alguma maneira, tudo isso volta.”* Essas palavras simples foram um divisor de águas na minha vida. Eu naturalmente sempre gostei de ajudar aos outros quando podia, mas sempre tive medo de ser enganado, ou aproveitado, o que me paralisava diversas vezes. Foi um livramento. Com isso que me ensinou sempre consegui me doar 100% em todas as atividades da pós-graduação, e tenho certeza que essa entrega foi fundamental para meu crescimento. Além disso ainda quero muito agradecer por toda orientação em pesquisa, clínica (que mão!), aulas didáticas (até hoje é a melhor aula que já assisti), e até em relacionamentos. A propósito seus orientados não têm acertado muito nessa parte, mas talvez seja porque você nos ensina a ser felizes.

Desta fase da vida (mestrado), tenho muito à agradecer. Minha querida turma, sempre foi conhecida por ser muito eficiente, foi diversas vezes usada como exemplo para outras turmas. De tamanha dedicação, hoje praticamente 100% da turma está já atuando como professores em alguma instituição de ensino, com exceção dos saíram de seu país para exercer suas atividades de pesquisa. Mas além da dedicação dos alunos teve uma pessoa responsável por proporcionar um mestrado tão eficiente, a Profª Drª Linda Wang. Sua dedicação às atividades da pós-graduação com certeza fizeram a diferença em nossas vidas. Em especial na minha, lembro-me muito bem de como praticamente pegou na minha mão para ensinar a escrever uma revisão de literatura. Isso sem falar em todo o respaldo que sempre deu ao nosso grupo de pesquisa, tirando várias dúvidas e permitindo que trabalhássemos com os equipamentos que conseguiu junto aos órgãos de fomento. Se sucesso é fazer a diferença na vida das pessoas, com certeza esse sucesso você já tem. Muito obrigado!

Ainda desta fase de mestrado, quero fazer um agradecimento especial ao Prof. Dr. Eduardo Batista Franco. Se houvesse tradição de nome de turma de mestrado, com certeza a nossa teria seu nome. Professor, muito obrigado por ser um exemplo de integridade, postura e dedicação. Hoje atuando como docente percebo a necessidade que os próprios alunos têm de seguir um exemplo e agradeço muito por ter a oportunidade de transmitir à eles o que me ensinou.

Agradeço também à Profª Drª Regina Guenka Palma-Dibb, professora de Dentística da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, quem de fato nos proporcionou a possibilidade de trabalhar com laser. Generosamente nos recebeu inúmeras vezes em seu departamento para que pudéssemos executar nossas pesquisas, não só autorizando a utilização dos equipamentos, mas também contribuindo de maneira crucial com conhecimento técnico e científico para execução das pesquisas tanto do mestrado quanto do doutorado.

Ainda no mestrado tive um momento de enorme realização pessoal. Fui escolhido como um dos pós-graduandos homenageados da 48ª turma de odontologia da FOB. Só quem se formou aqui pode imaginar o que é escutar o som da bateria se aproximando: “*é homenagem!*”. A gente nunca imagina que possa ser com a gente, mas de repente começam a gritar “*vem, vem Jack vem*”. Emoção indescritível, pernas tremendo, falta de ar. Foi sensacional e só tenho a agradecer queridos alunos da 48ª turma.

Em 2013 eu ingressava no doutorado. Planos pessoais cada vez mais certos, vários sonhos realizados e novos sonhos criados. Tudo caminhava muito bem, com as disciplinas do doutorado, com a pesquisa, com os artigos, com os relacionamentos. Futuro promissor. Deste ano, agradeço especialmente ao Prof. Dr. Yoshio Kawano, e ao Tércio, seu aluno de pós-doutorado, pela contribuição com a tese. Mesmo sem nos conhecermos e sem nenhuma indicação pessoal foram muito solícitos e contribuíram para que uma importante parte da pesquisa pudesse ser conduzida em seus laboratórios.

Em 2014 uma nova etapa se iniciava: assumi a vaga de professor substituto na Fundação Municipal de Educação e Cultura de Santa Fé do Sul (FUNEC). Lembro-me claramente do meu primeiro dia de aula. Dia quente, alunos uniformizados. Já fui direto para a clínica do 4º ano. Não sabia nem preencher os formulários dos atendimentos, tudo novo. Mas o pior foi a tarde: aula teórica. Aí que eu descobri o que era ter 80 alunos dentro de uma sala. Aquela energia típica de alunos de graduação, muita conversa, gritaria. Meu Deus, onde é que eu fui me meter... Mas foi tudo bem, logo tive a minha primeira aula, e cada vez mais fui aceito pelos alunos. Sem dúvidas tudo isso graças ao apoio que os professores da casa me deram. Por este apoio, agradeço fortemente à Profª Érica Delalibera Silva, Prof. Ricardo Dantas e Profª Cláudia Garcia. Estendo também meus agradecimentos à diretoria e coordenação, por meio dos professores Max Douglas, Guilherme Hiroshi Yamanari, e Sâmira Ambar. Cada vez mais tenho aprendido com os srs. qual é o grande segredo de sucesso da FUNEC. Além da competência profissional, vi que é possível adicionar muito calor humano e acolhimento aos alunos, o que os torna felizes, confiantes e determinados a atingir seus objetivos. Parabéns e obrigado! É verdadeiramente um privilégio fazer parte do corpo docente da instituição.

Nos anos seguintes tudo correu muito bem. Tornei-me professor efetivo, criamos o curso de extensão em Dentística, praticamente todos os sonhos que poderia realizar estavam acontecendo. Em 2015 aconteceu de novo. Fui homenageado pela 51ª turma de odontologia da FOB. Uma turma especial, a turma do meu irmão. Vê-lo tocar a bateria que me chamava, e depois vê-lo ler o texto da homenagem foi fascinante. Alegria maior ainda foi receber o mimo durante a colação de grau, momento em que meu irmão foi convidado a me entregar, e meus pais e familiares estavam presentes. Essa emoção tenho certeza que não há dinheiro no mundo que pague, e por isso agradeço à vocês 51ª turma!

Em 2016, quando realmente parecia que estava tudo saindo perfeitamente como planejado, aconteceu minha pior queda. Fim de um relacionamento que durara 06 anos e meio. Os nossos caminhos se divergiram e não havia como voltar atrás. Tudo bem, não criei mágoas e espero que você também não, Denise. Aliás à você só tenho a agradecer, pela parceira que sempre foi, e por ter me dado suporte e companhia durante praticamente toda a minha pós-graduação. Se hoje estou finalizando meu doutorado, este mérito também é seu. Obrigado.

No mesmo dia em que terminou esse relacionamento, eu tinha uma reunião marcada com a Profª Drª Ana Flávia Sanches Borges, para conversarmos sobre as aulas que seriam oferecidas no curso de especialização em dentística do HRAC. Optei por não desmarcar e conseguimos organizar a disciplina, mas ao final acabei caindo em lágrimas. Agradeço pelo acolhimento, pelos minutos que me ouviu e pelo carinho que me acolheu. Foram momentos difíceis mas é graças a pessoas como a sra. que conseguimos superar. Muito obrigado!

Isso tudo aconteceu em janeiro, e 2016 mostrou que não seria um ano fácil, e não foi mesmo. Mas graças às amizades que criamos ao longo desses anos a alegria rapidamente voltou ao dia a dia. Não vou citar nomes com receio de injustamente esquecer alguém, mas agradeço a todos vocês queridos amigos, colegas de pós-graduação e funcionários do departamento de Dentística.

Ainda em 2016, uma pessoa foi fundamental para minha reeducação emocional. E confesso que não esperava pois conhecia apenas o seu lado “chefe de departamento”. O Prof. Dr. Rafael Francisco Lia Mondelli talvez não deixa transparecer, mas é sem dúvida uma pessoa muito dedicada e preocupada com o bem estar do próximo. Vi isso diversas vezes nos cursos, quando conversava com sua família, e até no futebol em que é o Presidente. Seus conselhos durante as viagens, que pareciam ser de pai para filho, realmente me ajudaram muito. Além disso hoje o vejo como exemplo de esforço e determinação. É incansável, parece ter muito mais energia do que a média das pessoas. Agradeço por toda confiança em meu trabalho, e principalmente pela contribuição em minha formação pessoal.

Mais recentemente, já em 2017, tive uma notícia excelente. Minha primeira aluna de iniciação científica na FUNEC, Francielly Camim, acaba de ser aprovada para o mestrado aqui na Dentística, na mesma turma que meu irmão. O mérito da aprovação é totalmente advindo de seu esforço e dedicação, mas a alegria que sinto vendo seu sucesso me dá a certeza que escolhi a profissão certa. Fran, muito obrigado pela por ter sido aluna tão dedicada nesses últimos anos, que seu sucesso seja tão intenso quanto a dedicação que você tem.

Neste momento, em que escrevo a versão corrigida desta tese, tenho a oportunidade também de agradecer à banca examinadora, composta pelos professores: Prof. Dr. Heitor Marques Honório, Prof^a Dr^a Adriana Bona Matos, Prof Dr. Sérgio Eduardo de Paiva Gonçalves, Prof. Dr. Rafael Francisco Lia Mondelli e Prof. Dr. Sérgio Kiyoshi Ishikiriama.

Além das considerações que contribuíram de forma imensurável na qualidade deste trabalho, agradeço toda a atenção e a prontidão com que aceitaram o convite para fazer parte deste momento. Carregarei para sempre comigo as palavras de incentivo e perseverança que foram ditas por cada um, palavras que sem dúvidas redefiniram meus destinos e fatalmente contribuíram para importantes tomadas de decisões que farei, principalmente no próximos anos.

Hoje com energias renovadas, e uma mentalidade muito mais resiliente, tenho total confiança no futuro e nos grandes desafios que surgem ao horizonte. Talvez essas boas energias tenham até atraído para perto de mim pessoas que me fazem bem, e por isso agradeço à Deus por ter traçados todos esses caminhos, que muitas vezes não compreendemos imediatamente, mas que ao final fazem todo sentido.

Agradeço ainda à CAPES, agência de fomento que proporcionou recursos financeiros para a condução desta tese de doutorado.

*“Sucesso não é quanto dinheiro você ganha, mas a diferença que
você faz na vida das pessoas.”*

Michelle Obama

RESUMO

A irradiação de sistemas adesivos com laser tem obtido resultados promissores, no entanto, seu mecanismo de ação, bem como a longevidade da camada híbrida obtida após a irradiação com laser ainda não estão bem estabelecidos na literatura. A presente tese teve como objetivo: avaliar a absorvância do laser de Diodo por diferentes sistemas adesivos por meio de espectroscopia no infravermelho próximo; avaliar a evaporação de água e solventes proporcionada pelo laser por meio da variação da massa analisada em balança de precisão; avaliar a resistência de união por meio de teste de microtração após envelhecimento de 12 meses. Os dados obtidos foram analisados por modelos de ANOVA, seguidos de teste Tukey ($p < 0,05$) e os resultados demonstraram que: a irradiação no infravermelho próximo, área do espectro eletromagnético que compreende o laser de Diodo, não apresenta interação com os sistemas adesivos testados; o laser de Diodo é capaz de proporcionar maior alteração de massa, mesmo após contínua evaporação dos solventes com jatos de ar por 60s; sistemas adesivos simplificados apresentaram valores de resistência de união imediato semelhantes aos valores obtidos após 12 meses de envelhecimento. Os dados obtidos neste estudo sugerem que a irradiação com laser de Diodo pode contribuir favoravelmente para a adesão em dentina com sistemas adesivos simplificados após 1 ano.

Palavras-chave: Adesivos Dentinários. Resistência à Tração. Espectroscopia de Luz Próxima ao Infravermelho. Lasers.

ABSTRACT

EFFECT OF DIODE LASER IRRADIATION ON DENTIN-BONDING AGENTS

The laser irradiation of adhesive systems has obtained promising results, however, its mechanism of action, as well as the longevity of the hybrid layer obtained after laser irradiation are still not yet well established in the literature. This thesis aimed to: assess the diode laser interaction with different adhesive systems by means of near infrared spectroscopy; evaluate the evaporation of solvents and water provided by the laser through the mass variation analyzed at a precision balance; evaluate the bond strength through microtensile bond strength test after 12 months of aging. The data was analyzed through ANOVA models, followed by Tukey test ($p < 0.05$), and the results demonstrated that: in the near-infrared irradiation area, the electromagnetic spectrum comprising the diode laser, shows no interaction with the adhesive systems tested; the diode laser was able to provide greater mass variation, even after continual evaporation of solvents with air jets for 60s; simplified adhesive systems presented immediate bond strength values similar to the ones verified after 12 months of aging. The data obtained in this study suggest that the Diode laser irradiation can contribute favorably for the adhesion between dentin and simplified adhesive systems after 1 year.

Key words: Dentin-bonding agents. Tensile strength. Spectroscopy, Near-Infrared. Lasers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURAS

- Figura 1 - Espectro da luz visível e demais espectros de radiação eletromagnética..... 66
- Figura 2 - As raízes dos incisivos bovinos foram seccionadas na cortadeira analógica com disco diamantado a dois milímetros da junção amelo-cementária (A), obtendo-se espécimes com formato cilíndrico de altura padronizada em 6mm (B)..... 80
- .
- Figura 3 - Os espécimes foram em seguida seccionados em dois planos no sentido longitudinal (A) com disco diamantado montado em peça de mão (B), e, obtendo-se dois espécimes retangulares de cada cilindro..... 81
- .
- Figura 4 - Por fim os espécimes foram submetidos à ação da politriz com disco de lixa de granulação 600, para se obter espécimes padronizados com 6x6mm de área (A) e 1mm de espessura (B)..... 81
- .
- Figura 5 - A massa dos espécimes foi medida em balança de precisão (A) antes da aplicação dos sistemas adesivos para fins de aleatorização em bloco. Em seguida os sistemas adesivos foram aplicados mediante a respectiva técnica, e a massa foi novamente medida (B), obtendo-se a massa inicial (M_0). Foi realizada a evaporação com ar por 10s e por 60s obtendo-se os valores de massa M_{ar10} e M_{ar60} , em seguida foi realizada a irradiação com laser de Diodo (C) obtendo-se M_L , e posteriormente foi realizada a fotoativação do sistema adesivo, obtendo-se por fim M_F (D)..... 81

- Figura 6 - A) Matriz (M) de silicone por condensação de 6mm de largura por 6mm de comprimento posicionada de forma centralizada sobre a dentina, e esmalte de unha (E) foi utilizado para delimitação da área a ser irradiada. B) Representação da área a ser irradiada (I) determinada pelo esmalte de unha..... 83
- Figura 7 - A) Máquina de cortes seriados (Isomet™ LowSpeedSaw®, Buehler, Lake Bluff, EUA). B) O primeiro corte é realizado no sentido méso-distal da coroa, gerando fatias de aproximadamente 1mm de espessura. C) Corte semelhante é realizado, agora no sentido vestibulo-lingual do mesmo dente, gerando palitos com área transversal de aproximadamente 1mm²..... 88
- Figura 8 - O teste de microtração foi conduzido na máquina de ensaios universal INSTRON 3342 (A) (Illinois Tool Works, Norwood, EUA) utilizando-se dispositivo de microtração similar ao de Bencormulti T (T) com célula de carga de 500N (C). Os palitos foram fixados com adesivo à base de cianocrilato posicionando a interface adesiva perpendicular à força de tração (D)..... 88

- GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultado do teste de absorvância, evidenciando que nenhum sistema adesivo é capaz de absorver ondas eletromagnéticas no comprimento de onda correspondente aos lasers de Diodo (D) e Nd:YAG (ND). AMP - Adesivo ScotchBond Multipurpose; EO - EasyOne; SB - Single Bond; SBU - Single Bond Universal; ACSE - Adesivo ClearFil SE Bond; PCSE - Primer ClearFil SE Bond; P-MP - Primer Scotchbond Multipurpose.....	91
Gráfico 2 - Representação gráfica dos valores de média e desvio padrão da alteração de massa (ΔM) em μg	92
Gráfico 3 - Porcentagem dos tipos de fratura por grupo.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média e desvio padrão da alteração de massa (ΔM) em μg	92
Tabela 2 - Valores de média e desvio padrão da resistência de união (MPa) obtida por meio do teste de microtração.....	93

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

BisGMA	Bisfenol A Glicidil Metacrilato
cm	centímetro
Er:YAG	Granada de Ítrio e Alumínio, dopado com Érbio
HEMA	2-Hidroxi-etilmetacrilato
J	Joule
J/cm ²	Joule por centímetro quadrado
laser	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i> (Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação)
LED	<i>Light Emitting Diodes</i> (Diodos Emissores de Luz)
MDP	<i>10-methacryloxydecyl dihydrogen phosphate</i> (metacriloxidecil dihidrogênio fosfato)
mm	milímetro
Nd:YAG	Granada de Ítrio e Alumínio, dopado com Neodímio
Nd:YFL	Fluoreto de Ítrio e Lítio, dopado com Neodímio
nm	nanômetros
NPA-GMA	<i>N-phenylglycine</i> e <i>glycidyl methacrylate</i> (N-fenilglicina e Glicidil metacrilato)
s	segundo
™	<i>Trademark</i> (marca registrada)
W	Watts
W/cm ²	Watts por centímetro quadrado
μm	micrômetro

LISTA DE SÍMBOLOS

$\pm$	mais ou menos
$<$	menor
CSE	Clearfil™ SE Bond
DE	Densidade de Energia
DP	Densidade de Potência
EO	Adper™ EasyOne
Ep	Energia por pulso
Et	Energia total
F	Frequência
h	Constante de Planck
M _{ar10}	Massa após jato de ar por 10s
M _{ar60}	Massa após jato de ar por 60s
M _L	Massa após irradiação com laser
M _F	Massa após fotopolimerização
MP	Adper™ Scotchbond Multi-Purpose Plus
P	Potência
SB	Adper™ SingleBond 2
λ	Comprimento de onda

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	51
2	REVISÃO DE LITERATURA	59
3	PROPOSIÇÃO	71
4	MATERIAL E MÉTODOS	75
4.1	ABSORVÂNCIA	77
4.2	EVAPORAÇÃO DOS SOLVENTES	78
4.3	RESISTÊNCIA DE UNIÃO	82
5	RESULTADOS	89
5.1	ABSORVÂNCIA	91
5.2	EVAPORAÇÃO DOS SOLVENTES	92
5.2	RESISTÊNCIA DE UNIÃO	93
6	DISCUSSÃO	97
7	CONCLUSÕES	107
	REFERÊNCIAS	109

1 Introdução

1 INTRODUÇÃO

A evolução dos sistemas adesivos durante as décadas de 80 e 90 resultaram na obtenção de satisfatória retenção ao substrato dentário (NAKABAYASHI; KOJIMA; MASUHARA, 1982; PASHLEY; CARVALHO, 1997), que deixou de ser a principal causa de falhas prematuras das restaurações de resina composta (VAN MEERBEEK et al., 1998). O foco passou a ser a infiltração e degradação da camada híbrida em substrato dentinário, causada tanto pela degradação hidrolítica (WANG; SPENCER, 2003; TAY; PASHLEY; YOSHIYAMA, 2002) quanto enzimática (PASHLEY et al., 2004; CARRILHO et al., 2007; TJADERHANE et al., 2013), consideradas as responsáveis pela reduzida longevidade clínica das resinas compostas aplicadas com margens em dentina (MJOR; DAHL; MOORHEAD, 2000; LEVIN; COVAL; GEIGER, 2007).

Uma das propostas para reduzir estes problemas consiste na utilização da tecnologia do laser com a finalidade de promover uma adesão mais eficaz à dentina. Inicialmente foi investigada a capacidade da irradiação com os LASERs de alta potência (Nd:YAG e Er:YAG) substituir a etapa de condicionamento ácido da dentina, uma vez que um padrão aparentemente favorável para adesão era observado, com uma superfície micro-retentiva, túbulos dentinários abertos e ausência de smear layer (VISURI; WALSH; WIGDOR, 1996; DOSTALOVA et al., 1998). Apesar destas características morfológicas, investigações baseadas em testes de resistência de união demonstraram que o condicionamento da superfície dentinária com laser não aumentou, ou até reduziu, os valores de resistência de união (DE MUNCK et al., 2002; MANHAES et al., 2005; SOUZA-ZARONI et al., 2008; MALTA et al., 2008; TACHIBANA et al., 2008; AYAR; YILDIRIM, 2017; GAN et al., 2017). Alguns autores afirmaram que a redução evidenciada era decorrente das micro-trincas na subsuperfície da dentina irradiada, e do colapso e degradação seletiva das fibras de colágeno causada pela irradiação com laser (CEBALLOS et al., 2001; DE MUNCK et al., 2002; MORETTO et al., 2011).

Uma alternativa para utilização do laser nos procedimentos adesivos foi realizada por Gonçalves, Araújo e Damião (1999): estes autores sugeriram a irradiação laser sobre sistemas adesivos já aplicados sobre a dentina, no entanto previamente à sua fotopolimerização. Neste estudo os autores irradiaram com laser experimental Nd:YFL o sistema adesivo Adper™ Scotchbond Multi-Purpose (3M

ESPE) aplicado sobre dentina bovina. Os resultados do teste de cisalhamento foram promissores, com um aumento significativo da resistência de união dos grupos irradiados com o laser experimental.

Na sequência outros estudos foram realizados utilizando técnica similar, no entanto, empregando um laser passível de ser utilizado na odontologia, de comprimento de onda próximo (Nd:YAG, 1064nm). Resultados satisfatórios foram encontrados, com aumento na resistência de união tanto em esmalte (MATOS et al., 2000) quanto em dentina (FRANKE et al., 2006; MARIMOTO et al., 2013). Resultados similares também foram observados com a irradiação do LASER de Diodo, cujo comprimento de onda (970nm) é próximo ao do Nd:YAG, no entanto o custo do equipamento é bastante reduzido (MAENOSONO et al., 2015). Neste estudo, um significativo aumento da resistência de união imediata foi observado quando sistemas adesivos simplificados foram irradiados com laser de Diodo.

Apesar de apresentar resultados favoráveis, obtidos principalmente por meio de testes mecânicos imediatos, ainda não está bem esclarecido quais os mecanismos pelos quais a irradiação com laser é capaz de aumentar a resistência de união. Algumas hipóteses foram especuladas, como a fusão e recristalização da hidroxiapatita já permeada pelo sistema adesivo (GONÇALVES; ARAÚJO; DAMIÃO, 1999; MARIMOTO et al., 2013), ou ainda uma melhor evaporação dos solventes através do aquecimento gerado pela irradiação com laser.

Além disso, pouco se sabe ainda como as ondas eletromagnéticas localizadas no espectro do infravermelho próximo, emitido pelos lasers testados, são capazes de interagir com os sistemas adesivos utilizados atualmente. Da mesma forma, a longevidade da camada híbrida irradiada com laser ainda é desconhecida, apesar desta informação ser de extrema relevância, uma vez que tem sido considerada capaz de prever o comportamento clínico dos adesivos dentinários ao longo do tempo (HEINTZE et al., 2011).

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi investigar os possíveis mecanismos pelos quais o laser é capaz de aumentar a resistência de união de sistemas adesivos à dentina, e também avaliar a longevidade da camada híbrida formada após a irradiação laser. Para tanto, o trabalho foi dividido em três etapas: absorvância, evaporação dos solventes e resistência de união após envelhecimento.

Estudos mostram que sistemas adesivos simplificados (convencional de dois passos e autocondicionante de passo único) apresentam aumento na resistência de união quando irradiados com laser (FRANKE et al., 2006; MARIMOTO et al., 2013; MAENOSONO et al., 2015), ao passo que sistemas adesivos não simplificados não têm apresentado alteração na resistência de união à dentina sob as mesmas condições (MATOS et al., 2000). Uma das hipóteses que poderia explicar estes comportamentos distingue seria a diferença na capacidade de absorção da luz emitida pelo laser, causada pela distinta composição que estes sistemas adesivos apresentam.

Com o objetivo de se verificar a capacidade de absorção de luz (absorvância) dos diferentes sistemas adesivos, uma proposta consiste em avaliá-los com espectrofotômetro na faixa do espectro do infravermelho próximo. Este aparelho é capaz de avaliar a absorção eletrônica da luz numa faixa de comprimento de onda que compreende os espectros específicos tanto do laser de Diodo (970nm), utilizado nesta pesquisa, como do laser Nd:YAG (1064nm) que é utilizado com a mesma finalidade, e amplamente investigado em outros estudos.

Quanto à segunda etapa desta tese, uma das principais hipóteses especuladas para justificar o aumento da resistência de união obtido após a irradiação dos sistemas adesivos com laser consiste numa evaporação de solventes mais acentuada. Alguns estudos já verificaram que a evaporação, que pode ser obtida por diferentes meios, é capaz de promover um aumento nos valores de resistência de união (REIS et al., 2010). Por outro lado, diferente da ação generalizada que os diferentes métodos de aquecimento podem provocar, o laser possui uma ação pontual e bastante concentrada, que permite um acentuado aumento local de temperatura, porém com rápida dispersão do calor. Especula-se que a irradiação com laser permita uma remoção de camadas de água mais intrínsecas, permitindo uma maior penetração dos sistemas adesivos nas tramas de colágeno.

Com o objetivo de verificar a capacidade de evaporação da água e dos solventes remanescentes dos sistemas adesivos com a irradiação com laser, o presente trabalho avaliou de forma quantitativa a perda de massa causada pela evaporação dos solventes por meio de uma balança de precisão.

Por fim, nota-se ainda que os principais problemas enfrentados pelas restaurações adesivas sobre o substrato dentinário não ocorrem imediatamente

após a restauração, pois são causados pela degradação da camada híbrida ao longo do tempo (TAY; PASHLEY; YOSHIYAMA, 2002; CARRILHO et al., 2007; MJOR; DAHL; MOORHEAD, 2000). Com o objetivo de avaliar esta degradação, uma das metodologias mais aceita consiste na reprodução dos ensaios de microtração após armazenamento em água ou saliva por tempos pré-determinados. Os resultados destes ensaios têm apresentado correlação com estudos de acompanhamento clínico, o que torna a microtração após envelhecimento simulado uma opção bastante aceita para prever o comportamento clínico dos sistemas adesivos (HEINTZE et al., 2011).

Neste contexto, a avaliação da longevidade da camada híbrida formada com a irradiação com laser de Diodo é de relevância ainda maior do que o aumento imediato da resistência de união, característica constatada em estudos prévios, que apresentou aumento significativo da resistência de união de sistemas adesivos simplificados irradiados com laser de Diodo (MAENOSONO et al., 2015). Assim, o presente estudo avaliou, por meio do ensaio de microtração, a resistência de união dos sistemas adesivos irradiados com laser de Diodo após envelhecimento dos espécimes em água por 12 meses.

2 Revisão de Literatura

2 REVISÃO DE LITERATURA

O desenvolvimento dos materiais resinosos proporcionou verdadeira revolução nos procedimentos restauradores, permitindo a realização de preparos biomecânicos mais conservativos (MERTZ-FAIRHURST et al., 1998; FERRACANE, 2011) e restaurações estéticas mais satisfatórias (MAENOSONO et al., 2013; MAENOSONO et al., 2015). No entanto, para a realização dessas restaurações e manutenção dos resultados à longo prazo, uma das etapas clínicas mais importantes consiste na obtenção de uma adesão consistente e duradoura entre os materiais resinosos e os diferentes substratos dentários.

Em esmalte, atualmente a adesão é considerada simples, duradoura e confiável, por outro lado, a adesão em dentina ainda pode ser qualificada como complexa e altamente susceptível à falhas em médio prazo (SPENCER et al., 2010). Uma vez que o objetivo desta pesquisa foi investigar uma possível complementação da técnica atual, visando a obtenção de uma adesão mais consistente em dentina, é extremamente necessário que o leitor tenha a compreensão do estado da arte, ou seja, como é atualmente obtida a adesão à dentina, e quais são os principais mecanismos de falha entre dente e sistema adesivo.

- Adesão à Dentina:

No presente, a técnica considerada como padrão ouro para obtenção de satisfatória adesão em dentina foi proposta por Fusayama *et al* (1979) e descrita por Nakabayashi, Kojima e Masuhara (1982). Consiste no “condicionamento total” (do termo em inglês *total-etch*), em que um ácido fosfórico a 37% é aplicado sobre a dentina pelo tempo de 15s. Após este período o ácido é removido com jato de água em abundância, e a dentina é mantida úmida para evitar o colapamento das fibrilas de colágeno. Na sequência é realizada a aplicação de um monômero resinoso hidrofílico (comumente chamado de *primer*), capaz de permear a dentina úmida formando uma camada mista de dentina desmineralizada e monômero resinoso (camada híbrida), seguida da aplicação de uma resina fluida e hidrofóbica (comumente chamada de adesivo) (PASHLEY et al., 2011). Para dar início à reação de polimerização, radicais livres são liberados por meio da fotoativação da canforoquinona (presente no adesivo), que deve ser realizada com luz de

comprimento de onda em torno de 470nm (correspondente à luz azul), idealmente com densidade de potência superior a 600mW/cm², por um tempo de 20s (CARVALHO et al., 2012)

Outra técnica amplamente utilizada para obtenção de adesão em dentina consiste na utilização de sistemas adesivos autocondicionantes (do termo em inglês *self-etch*). Neste caso, a etapa de condicionamento com ácido fosfórico é substituída pela incorporação de monômeros ácidos ao *primer*, possibilitando que este tenha a capacidade de desmineralizar a dentina ao passo que se infiltra na mesma. Após a penetração do *primer ácido*, uma camada de adesivo é aplicado sobre a dentina, seguindo posteriormente o mesmo protocolo de fotoativação (WATANABE, NAKABAYASHI E PASHLEY, 1994; VAN MEERBEEK et al., 2011).

Apesar da obtenção de resultados clínicos satisfatórios, ambas as técnicas apresentam número de passos considerável, o que consequentemente determina um maior tempo clínico, além de maior sensibilidade de técnica, ou seja, maior chance de se cometer erros devido às múltiplas etapas. Com o objetivo de simplificar a técnica, os fabricantes criaram os sistemas adesivos “simplificados”, em que o *primer* e o adesivo estão contidos no mesmo frasco. A simplificação de fato reduziu o tempo clínico mantendo a capacidade de adesão imediata ao substrato dentinário, no entanto, observou-se que após determinado período de tempo, a adesão em dentina falha mais precocemente (VAN MEERBEEK et al., 2003; BRESCHI et al., 2008). Para compreender o motivo pelo qual os sistemas adesivos simplificados apresentam falhas mais precoces, o entendimento dos mecanismos de degradação da camada híbrida é essencial

- Mecanismos de degradação da camada híbrida

A degradação da camada híbrida ocorre principalmente em função de dois mecanismos: enzimático e hidrolítico. O mecanismo de degradação enzimática ocorre por meio enzimas como as metaloproteinases de matriz (MMPs), catepsinas e outras, que são ativadas após a desmineralização da dentina e são capazes de clivar o colágeno exposto pelo condicionamento ácido (PASHLEY et al., 2004; CARRILHO et al., 2007; TJADERHANE et al., 2013).

Diversas soluções estão sendo pesquisadas para tentar inativar estas enzimas, como por exemplo a aplicação de clorexidina após o condicionamento com

ácido fosfórico. No entanto, até o presente foi possível apenas postergar ou atrasar esse processo de degradação enzimática, mas sua completa inibição não foi totalmente alcançada.

Neste contexto, uma das formas atualmente consideradas mais eficientes de evitar o processo de degradação enzimática consiste na utilização de sistemas adesivos autocondicionantes em dentina, principalmente aqueles que apresentam pH menos ácido. Esses adesivos têm a capacidade de desmineralizar a dentina superficialmente, e praticamente toda a região desmineralizada é infiltrada pelos monômeros resinosos (VAN MEERBEEK et al., 2011). Quando utilizam-se sistemas adesivos convencionais, a área desmineralizada é sempre maior do que a área infiltrada pelos sistemas adesivos, permitindo maior atividade das MMPs. Além disso, alguns autores sugerem que, devido à menor acidez dos sistemas adesivos autocondicionantes, as fibrilas de colágeno não ficam totalmente expostas (uma camada de hidroxiapatita continua protegendo essas fibrilas), o que consequentemente reduz a atividade de degradação das MMPs (VAN MEERBEEK et al., 2011; YOSHIDA et al., 2012).

O segundo mecanismo de degradação da camada híbrida consiste na hidrólise ou degradação hidrolítica. A própria água é capaz de plastificar os polímeros gerando fendas na interface, movimentação de líquidos, e grande redução nos valores de resistência de união (VAN LANDUYT et al., 2005; YIU et al., 2005). Vale ressaltar que “resistência de união” é o valor atribuído à força necessária para romper a ligação adesiva entre dente e resina composta. Este valor é obtido principalmente por meio do teste de microtração, o qual atualmente é considerado um dos testes mais eficientes para prever o comportamento clínico dos sistemas adesivos (SANO et al., 1994; HEINTZE et al., 2011).

Esta água é proveniente tanto da própria dentina, que é bastante permeável, quanto das margens da cavidade, motivo pelo qual as restaurações com margens em dentina apresentam maiores índices de infiltração marginal (VAN MEERBEEK et al., 2003; BRESCHI et al., 2008). É devido ao contato direto com a água que os sistemas adesivos não simplificados apresentam longevidade clínica superior, uma vez que existe a etapa de aplicação do adesivo (resina fluida e hidrofóbica) que reduz a permeabilidade da camada híbrida. Estudos de Tay et al. (2004) demonstram que sistemas adesivos simplificados, por necessariamente apresentarem uma característica hidrofílica para conseguir penetrar na dentina,

comportam-se como membranas permeáveis, por onde a água é capaz de penetrar (através de um fenômeno denominado *water treeing*, devido ao aspecto de árvores observado em microscopia eletrônica de transmissão), e acelerar o processo de degradação hidrolítica da interface.

Ensaio de microtração revelaram acentuada queda nos valores de resistência de união quando sistemas adesivos simplificados são utilizados, e as restaurações são armazenadas em água por período de 6 meses (BRESCHI et al., 2008). A principal justificativa para a redução dos valores de resistência de união consiste na degradação hidrolítica da interface. Uma revisão sistemática conduzida apenas com estudos clínicos revelou menor longevidade clínica quando sistemas adesivos simplificados são utilizados (PEUMANS et al., 2005).

Outra fonte de umidade consiste na água remanescente da dentina após a infiltração do sistema adesivo. É importante ressaltar que esta umidade apresenta comportamento paradoxal: na sua ausência os monômeros não são capazes de se infiltrar na dentina devido ao colapso das fibrilas de colágeno, e na sua presença acentuam-se os fenômenos de degradação hidrolítica, além de uma intensificação dos processos de sorção e solubilidade (JACOBSEN; SODERHOLM, 1995; MALACARNE-ZANON et al., 2009).

Desta forma, a melhor maneira para lidar com este paradoxo atualmente consiste em manter a dentina úmida para penetração dos sistemas adesivos, e após a infiltração dos monômeros na dentina, remover o máximo da água com jato de ar contínuo e à distância, com o objetivo de evaporar a água da cavidade previamente à fotoativação do sistema adesivo. Apesar desta recomendação clínica ser simples e facilmente executada, ainda não promove satisfatória remoção da água remanescente. Isso acontece porque, à medida que a água é removida, sua pressão de vapor diminui, e parte da água é aprisionada na camada híbrida (PASHLEY et al., 1998). Didaticamente, existem três maneiras de se favorecer a evaporação da água aprisionada na camada híbrida: incorporação de solventes com maior pressão de vapor, redução da pressão atmosférica e aumento da temperatura.

A incorporação de solventes com alta pressão de vapor nos sistemas adesivos foi realizada com bastante sucesso pelos fabricantes. Atualmente, os principais componentes incorporados foram a acetona e o etanol. Vale ressaltar que a acetona apresenta pressão de vapor 10x maior que a da água, enquanto o etanol apresenta pressão de vapor apenas 2,5x maior. No entanto, foi observado que o

etanol apresenta maior capacidade de favorecer a evaporação da água remanescente no substrato após a infiltração dos sistemas adesivos, uma vez que faz ligações de pontes de hidrogênio com a água, e quando o etanol evapora, leva a água consigo, por meio de um fenômeno denominado azeotropia (YIU et al., 2005).

Outras maneiras de se promover maior evaporação da água remanescente consistem na redução da pressão atmosférica e aumento da temperatura. Agee et al. (2015) descreveram um método laboratorial em que é possível remover completamente a água do colágeno, no entanto em condições de temperatura e pressão totalmente impraticáveis clinicamente. Outro estudo que demonstra que o aumento de temperatura favorece a obtenção de uma adesão à dentina mais consistente é o ensaio realizado por Reis et al. (2010). Nesta pesquisa os autores avaliaram a resistência de união de sistemas adesivos cuja etapa de evaporação dos solventes fora realizada com ar em temperatura ambiente e ar aquecido. Constatou-se que quando a evaporação é realizada com ar quente, ocorre aumento nos valores de resistência de união.

Apesar dos resultados favoráveis, existem limitações nesta técnica, uma vez que um excessivo calor aplicado por meio de ar quente poderia levar tanto ao superaquecimento da polpa, quanto à injúrias dos tecidos moles adjacentes aos dentes. Para favorecer a evaporação dos solventes, idealmente este calor deve ser entregue de maneira direcionada, pontual e superficial, não se disseminando através da dentina a ponto de causar aquecimento superior a 5,5°C à polpa dentária (ZACH; COHEN, 1965). Neste contexto, a técnica de irradiação do laser sobre sistemas adesivos já infiltrados na dentina, porém ainda não fotoativados, apresenta-se como promissora, no entanto, para melhor compreensão do mecanismo de ação da irradiação com laser, é necessário conhecimento prévio de algumas de suas propriedades físicas.

- Propriedades físicas do laser

A palavra laser é um acrônimo, *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, ou amplificação da luz por emissão estimulada de radiação. O conceito de emissão estimulada é referente à forma como a luz laser é produzida em nível atômico, e se baseia na emissão de um fóton de energia específica, referente à diferença de energia entre o estado metaestável do átomo e seu estado

fundamental. A emissão estimulada é também o que determina características únicas desse tipo de radiação eletromagnética, como comprimento de onda definido, e colimação.

O comprimento de onda (γ) é o que define a cor da luz (caso ela seja visível) e varia de acordo com a quantidade de energia que o fóton carrega. Quanto menor o comprimento de onda, mais quantidade de energia (raios ultravioleta, raios-x e raios gama apresentam menor comprimento de onda, portanto grande quantidade de energia a ponto de causarem alterações celulares). O espectro de luz visível possui comprimento de onda de 400nm a 700nm, e feixes de luz com comprimento de onda superiores a 700nm não são visíveis a olho nu, e enquadram-se no espectro do infravermelho (700 a 50.000nm) (Figura 1).

Figura 1 - Espectro da luz visível e demais espectros de radiação eletromagnética

A quantidade de energia que um fóton carrega não necessariamente determina sua capacidade de gerar aquecimento a um substrato (a frase “quanto mais energia um fóton carrega, maior o calor gerado” é incorreta), no entanto, esta quantidade de energia determina o comprimento de onda (consequentemente a frequência da onda), o que influencia diretamente na capacidade da onda ser absorvida pelo substrato (por exemplo: a quantidade de energia de um fóton azul (470nm) é bastante superior à quantidade de energia de uma onda eletromagnética proveniente do aparelho de micro-ondas (~10.000nm). No entanto, a luz azul não aquece a água, ela simplesmente atravessa o líquido e se propaga. Ao contrário, as ondas do aparelho de micro-ondas são absorvidas pela água por um processo denominado absorção ressonante, o que causa uma aceleração das moléculas de

água e determina a geração de calor. Portanto mesmo ondas de energia mais baixa podem gerar mais calor, dependendo do substrato.

Esta informação é de extrema relevância uma vez que, conhecendo-se a capacidade de absorção de ondas eletromagnéticas que um substrato apresenta, é possível transformar com muita eficiência a energia luminosa em calor, sem que esse calor se propague a outras regiões do dente. Um exemplo disso consiste no laser Er:YAG, cujo comprimento de onda (2940nm) é altamente absorvido pela água, de tal maneira que a água presente na superfície dentária entra em ebulição e causa micro-explosões na estrutura dentária (processo denominado ablação) possibilitando a execução de preparos cavitários. No entanto, apesar da alta temperatura que ocorre na superfície, o calor não é transmitido até à polpa devido à baixa quantidade de energia necessária para o processo (BORNSTEIN 2003; RAUCCI-NETO et al., 2015). Concluindo, devido à alta especificidade que o laser apresenta em termos de comprimento de onda, é possível controlar e até mesmo aumentar a eficiência de transformação de fótons em calor, numa região específica, sem comprometer demais estruturas dentárias.

A outra grande diferença presente entre laser e luz halógena consiste na capacidade de colimação. A luz halógena é divergente e, ao passo que se afasta da fonte luminosa, sua área (*spot*) aumenta. Ao contrário, o laser apresenta fótons paralelos, e a área de atuação (*spot*) praticamente não aumenta ao se distanciar da fonte luminosa. Essa característica faz com que o laser seja aplicado na estrutura dentária em áreas bastante pequenas, o que traz como efeito a geração de um aquecimento bastante intenso na área irradiada, mesmo com baixa quantidade de energia, o que consequentemente evita que excessivo calor seja transmitido à polpa e às demais estruturas dentárias. Didaticamente é possível comparar o efeito de colimação do laser com o uso de uma lupa. A lupa é capaz de causar em efeito convergente na luz do sol por exemplo, concentrando-a de tal forma que seja possível até mesmo causar queimaduras ou atear fogo, utilizando a mesma quantidade de energia luminosa que não queima na ausência da lupa.

Associando as características de colimação e um comprimento de onda bastante específico, é possível portanto gerar um calor superficial bastante intenso, sem causar superaquecimento da polpa. Esta característica foi verificada por alguns autores em ensaio laboratorial, em que o laser de Diodo foi aplicado sobre a dentina bovina, e um termopar foi inserido na câmara pulpar para averiguar a variação de

temperatura. Mesmo com uma espessura de 2mm de dentina, o laser de Diodo não foi capaz de causar alterações superiores a 5,5°C (ISHIKIRIAMA et al., 2015).

- Adesão à dentina e laser

De posse destes conhecimentos prévios dos principais problemas de degradação da camada híbrida, e de algumas propriedades físicas do laser, é possível aprofundar quanto à interação que o laser pode apresentar no substrato dentário, seja ele infiltrado ou não com os sistemas adesivos. A primeira proposta relacionada com laser e adesão em dentina foi quanto à utilização da fonte de luz para o condicionamento da superfície dentinária. Microscopicamente foi possível observar que o laser era capaz de proporcionar um substrato dentinário rugoso, com túbulos dentinários abertos e livres de smear layer, características propícias para proporcionar adesão satisfatória à dentina (VISURI et al., 1996; DOSTALOVÁ et al., 1998), no entanto, foi verificado posteriormente por diversos ensaios laboratoriais, que a resistência de união obtida pelo substrato dentinário condicionado com laser era sempre semelhante, ou até inferior aos valores de resistência de união obtidos pelos tratamentos convencionais e autocondicionantes da dentina (DE MUNCK et al., 2002; MANHAES et al., 2005; SOUZA-ZARONI et al., 2008; MALTA et al., 2008; TACHIBANA et al., 2008; AYAR; YILDIRIM, 2017; GAN et al., 2017). Mais recentemente Cersosimo et al. (2016) observaram aumento da resistência de união com pré-tratamento da dentina utilizando laser Er:YAG de pulsos curtos, no entanto poucos estudos ainda foram realizados com este equipamento, que ainda apresenta custo relativamente alto.

Gonçalves, Araújo e Damião (1999) propuseram uma variação da técnica: o laser, ao invés de ser aplicado previamente aos sistemas adesivos para condicionamento da superfície dentinária, foi irradiado após a aplicação do sistema adesivo, e previamente à sua fotoativação. Resultados satisfatórios foram obtidos, com significativo aumento da resistência de união nos grupos em que o laser foi irradiado. Segundo os autores, uma das hipóteses é de que o sistema adesivo favoreceu a criação de um substrato mais resistente fisicamente, e mais susceptível à adesão. Na sequência Matos et al. (1999) compararam a irradiação com laser Nd:YAG antes ou após a aplicação dos sistemas adesivos, e verificaram que o

melhor momento para realizar a irradiação com laser é depois da aplicação do sistema adesivo.

Posteriormente novos estudos revelaram que a irradiação com laser Nd:YAG após a aplicação dos sistema adesivo poderia determinar aumento nos valores de resistência de união (FRANKE 2006, MARIMOTO 2013). Segundo os autores, este resultado teria sido proporcionado tanto pela melhor infiltração do sistema adesivo na dentina, quanto pela formação de um novo substrato em que dentina e adesivo estariam fundidos pela ação do laser. Com o objetivo de aumentar a viabilidade clínica da técnica, MAENOSONO et al. (2015) avaliaram a resistência de união de sistemas adesivos irradiados com laser de Diodo. Vale ressaltar que o laser de Diodo apresenta comprimento de onda (970nm) muito próximo ao do laser Nd:YAG (1064nm), portanto é provável que apresente interação semelhante com os substratos testados. Neste trabalho os autores verificaram que houve aumento na resistência de união quando sistemas adesivos simplificados foram avaliados.

Paradoxalmente, apesar de alguns resultados promissores, outros autores não observaram aumento nos valores de resistência de união utilizando técnica semelhante, com a mesma fonte de luz (MALTA et al., 2008, BARCELLOS et al., 2015, RUSCHEL; MALTA; MONTEIRO 2016, SILVA et al., 2016). Diferenças na forma de entrega da luz em termos de densidade de potência podem ser um dos fatores que determinaram estes resultados distintos. No entanto, com o objetivo de aumentar a eficiência da irradiação com laser sobre os sistemas adesivos, existe a necessidade de melhor compreensão do mecanismo pelo qual a irradiação com laser poderia interferir no processo de adesão dos sistemas adesivos ao substrato dentinário. Alguns autores avaliaram morfológicamente a camada híbrida irradiada com laser por meio de microscopia eletrônica de varredura, lançando algumas hipóteses desse mecanismo: uma maior penetração do sistema adesivo à dentina; fusão e recristalização da hidroxiapatita permeada com o sistema adesivo formando um substrato mais susceptível à adesão (GONÇALVES; ARAÚJO; DAMIÃO 1999; FRANKE et al., 2006; MARIMOTO et al., 2013). Mais recentemente, Brianezzi et al. (2017) verificaram por meio de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) que o laser de Diodo é capaz de aumentar o grau de conversão dos sistemas adesivos sem comprometer o grau de sorção e solubilidade.

Outro ponto que claramente precisa de mais investigações é o comportamento que a camada híbrida irradiada com laser apresenta após

envelhecimento em água, visto que os principais mecanismos de degradação da acontecem após determinado período de armazenamento, e apenas estes resultados têm sido correlacionados com a performance clínica das restaurações adesivas (HEINTZE et al., 2011). Barcellos et al. (2015) avaliaram a resistência de união de sistemas adesivos irradiados com laser após 12 meses de envelhecimento. Os grupos irradiados com laser sofreram redução nos valores de resistência de união, enquanto que nos grupos controle (sem laser) essa redução não ocorreu. No entanto vale ressaltar que o substrato avaliado era o esmalte, que apresenta menor degradação da interface entre dente e restauração quando comparado com a dentina. Ruschel, Malta e Monteiro (2016) não verificaram redução nos valores de resistência de união à dentina tanto dos adesivos irradiados com laser quanto dos adesivos não irradiados (controle), no entanto o período de armazenagem foi de 3 meses, o que pode não ter sido suficiente para que a degradação da camada híbrida fosse capaz de comprometer os valores de resistência de união (KONNO et al., 2003; MANSO et al., 2009).

3 Proposição

3 PROPOSIÇÃO

Esta tese apresentou três objetivos distintos:

- Avaliar a interação da luz no comprimento de onda do laser de Diodo com os diferentes sistemas adesivos por meio de espectrofotometria no infravermelho próximo;
- Avaliar a capacidade do laser de Diodo em proporcionar evaporação de água e solventes dos sistemas adesivos por meio de análise de alteração de massa;
- Avaliar a resistência de união de sistemas adesivos irradiados com laser de Diodo e envelhecidos em água por 12 meses por meio de teste de microtração.

Desta forma, foram averiguadas as seguintes hipóteses nulas:

- 1- Não há diferenças na absorção de luz no comprimento de onda do laser de Diodo entre os diferentes sistemas adesivos;
- 2- Não há diferenças na capacidade de evaporação de solventes entre os diferentes sistemas adesivos;
- 3- Não há diferenças na capacidade de evaporação dos solventes utilizando diferentes técnicas de evaporação dos solventes;
- 4- Não há diferenças nos valores de resistência de união entre os diferentes sistemas adesivos;
- 5- Não há diferenças nos valores de resistência de união quando os sistemas adesivos são irradiados com laser de Diodo;
- 6- Não há diferenças nos valores de resistência de união entre a avaliação imediata e após 12 meses de armazenagem em água.

4 Material e Métodos

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Absorvância

4.1.1. Delineamento Experimental

O delineamento experimental desta etapa apresentou um fator de variação: Sistema Adesivo em sete níveis (Primer do ScotchBond Multipurpose [P-MP], Adesivo do ScotchBond Multipurpose [A-MP], SingleBond 2 [SB], Primer do Clearfil SE Bond [P-CSE], Adesivo do Clearfill SE Bond [A-CSE], adesivo EasyOne [EO] e adesivo SingleBond Universal [U]) (Quadro 1). A variável de resposta foi qualitativa e foi obtida por meio de espectrofotometria na luz visível e infravermelho próximo.

Quadro 1 – Composição química dos sistemas adesivos utilizados, de acordo com os fabricantes.

MATERIAL	COMPOSIÇÃO
Adper™ Scotchbond Multi-Purpose Plus 3M ESPE, St Paul, EUA	Primer: HEMA*, Copolímero de ácido polialcenóico, Água Adesivo: Bis-GMA**, HEMA*, Canforoquinona
Adper™ Single Bond 2 3M ESPE, St Paul, EUA	Bis-GMA**, HEMA*, Dimetacrilatos, Etanol, Água, Fotoiniciador, Copolímero funcional de metacrilato de ácidos poliacrílico e polialcenóico
Clearfil™ SE Bond Kuraray, Osaka, Japão	Primer: MDP***, HEMA*, Monômeros Dimetacrilatos, Água, Fotoiniciador Adesivo: MDP***, HEMA*, Monômeros Dimetacrilatos, Carga (Micro), Fotoiniciador
Adper™ EasyOne 3M ESPE, St Paul, EUA	Ester Fosfórico Metacrilato, Copolímero do Vitrebond™, Nanopartículas, Etanol, Água, Dimetacrilatos, HEMA*, Iniciador
Single Bond Universal 3M ESPE, St Paul, EUA	Metacrilato de 2-hidroxietila, Bis-GMA, Decametileno dimetacrilato, Etanol, Sílica tratada de silano, Água, 1,10-Decanodiol fosfato metacrilato, Copolímero de acrílico e ácido itacônico, Caforoquinona, N,N-Dimetilbenzocaína

*HEMA: 2-Hidroxi-etilmetacrilato

**Bis-GMA: Bisfenol A Glicidil Metacrilato

***MDP: 10-Metacrilóiloxidecil dihidrogênio fosfato

4.1.2. Obtenção do Espectro

Para obtenção do espectro de absorção no infravermelho próximo dos diferentes sistemas adesivos, uma pequena quantidade de cada uma das amostras foi aplicada com um micropincel (KG Brush Regular, KG Sorensen, Cotia, SP, Brasil) na superfície de cubetas de quartzo (Hellma Analytics, Müllheim, Baden-Württemberg, Alemanha), as quais foram posicionadas no espectrofotômetro de luz visível e infravermelho próximo (UV3101PC, Shimadzu, Kioto, Japão). A obtenção do espectro foi realizada por meio de uma leitura que compreende a faixa do infravermelho próximo, luz visível e ultra violeta, de 300nm a 1100nm.

Os gráficos de absorvância foram avaliados qualitativamente, analisando a capacidade de absorção dos sistemas adesivos nos comprimentos de onda de 970nm e 1064nm, referentes ao laser de Diodo e laser Nd:YAG respectivamente.

4.2. Evaporação dos Solventes

4.2.1. Delineamento Experimental

O delineamento experimental desta etapa apresentou dois fatores de variação: Sistema Adesivo, dividido em quatro níveis (ScotchBondMultipurpose [MP], SingleBond 2 [SB], Clearfil SE Bond [CSE] e SingleBond Universal [U]); e Tratamento, dividido também em quatro níveis (Jato de Ar por 10s [Ar10], Jato de Ar por 60s [Ar60], Laser de Diodo [L] e Fotopolimerização [F]). A variável de resposta quantitativa foi a perda de massa (μg), aferida por meio de balança de precisão. A amostra utilizada foi de 10 dentes bovinos, dos quais foram obtidos 4 espécimes por dente, totalizando 40 espécimes ($n=10$).

4.2.2. Obtenção da Amostra

10 incisivos inferiores bovinos sem trincas ou rachaduras foram selecionados para este experimento. Os dentes foram limpos e previamente armazenados em solução de Timol a 0,1% por período de uma semana. Os dentes foram então seccionados na cortadeira analógica com disco diamantado (Exttec Dia. Waferblade 5"x.015x1/2, ExttecCorp-Einfeld, CT, EUA), a dois milímetros

apicalmente da junção amelo-cementária. As raízes obtidas foram novamente seccionadas no mesmo dispositivo, obtendo-se espécimes com formato cilíndrico de altura padronizada em 6mm (Figura 02). Em seguida, com disco diamantado montado em peça de mão, foi realizado o seccionamento das raízes no sentido longitudinal em dois planos, obtendo-se dois espécimes retangulares referentes à face mesial e distal (Figura 03). Estes espécimes foram em seguida levados à politriz metalográfica (Arotec, Cotia, SP, Brasil) com lixa de granulação 600 (CarbimetPaperDiscs, Buehler, Lake Bluff, EUA) para obtenção de espécimes padronizados (área de 6x6mm, e espessura de 1mm) (Figura 04). Após esta etapa os espécimes foram armazenados em água deionizada por período de sete dias.

4.2.3. Teste de Evaporação dos Solventes

Após hidratação dos espécimes, estes foram levados à balança de precisão, e a massa foi verificada com o objetivo de aleatorizar os espécimes em bloco. Os espécimes foram mantidos em gaze úmida até o momento da avaliação. Na etapa seguinte os sistemas adesivos foram aplicados respeitando-se as orientações do fabricante. Vale ressaltar que todas as avaliações foram realizadas em ambiente com umidade controlada, variando entre 32 a 37% de umidade relativa do ar.

Os espécimes com sistema adesivo aplicado foram pesados obtendo-se o valor de massa inicial (M_0). Na sequência foi aplicado sobre o espécime um jato de ar frio por meio de seringa tríplice a uma distância padronizada de 15cm, por período de 10s, obtendo-se em seguida a massa do espécime (M_{ar10}). O mesmo procedimento foi repetido, no mesmo espécime, no entanto por um período de 60s, obtendo-se o valor de M_{ar60} .

Na sequência foi realizada a irradiação com laser de Diodo, em forma de varredura, com a fibra ótica de 200 μ m de diâmetro em contato com o espécime, de forma perpendicular ao espécime, por 30s. Vale enfatizar que o pesquisador foi calibrado previamente para realizar a varredura na velocidade ideal para percorrer todo o espécime no tempo de 30s. Os parâmetros utilizados para a irradiação podem ser verificados no quadro 2. Desta forma obteve-se nova massa do espécime (M_L). Por fim foi realizada a fotoativação do espécime com aparelho de

fotopolimerização LED de 1W/cm² (Blue Star 2, Microdont, São Paulo, Brasil) por 20s, obtendo-se a massa final do espécime (M_F) (Figura 05).

Quadro 2: Parâmetros utilizados para irradiação da área teste com laser de Diodo (SiroLaser, Sirona Dental Systems, Benshein, Alemanha).

Parâmetro	Valor
Comprimento de onda	970nm
Energia por pulso	80 mJ
Frequência	10 Hz
Potência	0,8 W
Área da secção transversal do feixe (diâmetro da ponta de 200µm)	3,14 x 10 ⁻⁴ cm ²
Área irradiada	36 mm ²
Tempo de irradiação	30 s
Energia Total	24 J
Densidade de Potência (ponta)	2547,77 W/cm ²
Densidade de Energia da Área	66,67 J/cm ²

4.2.4. Análise Estatística

Os valores de alteração de massa (ΔM) foram obtidos subtraindo-se a massa do espécime após o determinado tratamento da massa inicial (M₀). Ex. ($\Delta M_{ar60} = M_0 - M_{ar60}$); ($\Delta M_L = M_0 - M_L$). Os valores de alteração de massa foram então submetidos à análise de variância (ANOVA) a dois critérios, com medidas repetidas, seguido por teste Tukey, adotando-se sempre $p < 0,05$.

Figura 02 - As raízes dos incisivos bovinos foram seccionadas na cortadeira analógica com disco diamantado a dois milímetros da junção amelo-cementária (A), obtendo-se espécimes com formato cilíndrico de altura padronizada em 6mm (B).

Figura 03 - Os espécimes foram em seguida seccionados em dois planos no sentido longitudinal (A) com disco diamantado montado em peça de mão (B), e, obtendo-se dois espécimes retangulares de cada cilindro.

Figura 04 - Por fim os espécimes foram submetidos à ação da politriz com disco de lixa de granulação 600, para se obter espécimes padronizados com 6x6mm de área (A) e 1mm de espessura (B).

Figura 05 - A massa dos espécimes foi medida em balança de precisão (A) antes da aplicação dos sistemas adesivos para fins de aleatorização em bloco. Em seguida os sistemas adesivos foram aplicados mediante a respectiva técnica, e a massa foi novamente medida (B), obtendo-se a massa inicial (M_0). Foi realizada a evaporação com ar por 10s e por 60s obtendo-se os valores de massa M_{ar10} e M_{ar60} , em seguida foi realizada a irradiação com laser de Diodo (C) obtendo-se M_L , e posteriormente foi realizada a fotoativação do sistema adesivo, obtendo-se por fim M_F (D).

4.3. Teste de Resistência de União**4.3.1. Delineamento Experimental**

O delineamento experimental desta etapa apresentou três fatores de variação: laser em dois níveis (Com e Sem laser); Sistemas Adesivos em quatro níveis (Adper™ Scotchbond Multi-Purpose Plus [MP], Adper™ SingleBond2 [SB], Clearfil™ SE Bond [CSE], Adper™ EasyOne [EO]) e Tempo em dois níveis (Imediato e após doze meses). A variável de resposta quantitativa foi a resistência de união, por meio de teste de microtração. A amostra foi constituída de 80 dentes humanos, divididos em 16 grupos (n=10), definidos pelos fatores de variação “Laser” e “Sistemas Adesivos”.

4.3.2. Obtenção da amostra

A amostra foi constituída de 80 dentes, terceiros molares humanos hígidos, extraídos por indicação odontológica, e cedidos mediante o termo de doação de dentes mediante o Termo de Doação de Dentes, segundo a resolução nº 196 do Conselho Nacional de Saúde (Ministério da Saúde, DF) e após aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa em Seres Humanos da Faculdade de Odontologia de Bauru – USP (Anexo 1). Imediatamente após a extração, os dentes foram limpos com curetas (Duflex 55G, SS White Artigos Dentários Ltda., Rio de Janeiro, Brasil) para remoção de restos de tecidos periodontais e examinados com lupa estereoscópica com aumento de 10x, com a finalidade de detectar possíveis trincas, lesões de cárie ou alterações estruturais que pudessem comprometer o experimento. Posteriormente foram armazenados em solução de timol a 0,1% renovada semanalmente, onde ficarão imersos até o preparo dos espécimes.

4.3.3. Preparo dos espécimes

Utilizando-se máquina de corte seriada (Isomet™ Low Speed Saw® Buehler, Lake Bluff, EUA), cada dente selecionado teve sua coroa seccionada, transversalmente no terço oclusal, com disco diamantado (Extec Dia. Waferblade 5"x.015x1/2, ExtecCorp-Einfeld, CT, EUA) em baixa velocidade e sob refrigeração

com água, a fim de se remover o esmalte da face oclusal e expor a dentina superficial necessária para os procedimentos adesivos/restauradores. Em sequência, as coroas seccionadas foram submetidas à ação de desgaste na politriz metalográfica (Arotec, Cotia, SP, Brasil), de modo que a face de dentina exposta estivesse em contato com a lixa e paralela a mesma. Primeiramente, para a remoção de eventuais remanescentes de esmalte, foi empregada lixa d'água com granulação 320 (Carbimet Paper Discs, Buehler, Lake Bluff, EUA) em baixa rotação e sob refrigeração com água, substituída periodicamente. Para a planificação final da superfície de dentina, bem como simular a formação de *smear layer* padronizada, foi utilizada lixa d'água com granulação 600 (Carbimet Paper Discs, Buehler, Lake Bluff, EUA) por 30 segundos.

Sobre a dentina planificada, uma matriz de silicone por condensação (Zetalabor, Zhermack, São Paulo, Brasil) com dimensões de 6x6mm foi posicionada de forma centralizada, e esmalte de unha foi aplicado ao seu redor para delimitar a área a ser irradiada com laser de Diodo. Após a remoção da silicone por condensação, a área teste ficou delimitada pelo esmalte de unha (Figura 06). Em seguida cada grupo recebeu tratamento com o respectivo sistema adesivo de acordo com as instruções do fabricante (Quadro 3).

Fonte: Maenosono RM, 2013

Figura 06: A) Matriz (M) de silicone por condensação de 6mm de largura por 6mm de comprimento posicionada de forma centralizada sobre a dentina, e esmalte de unha (E) foi utilizado para delimitação da área a ser irradiada. B) Representação da área a ser irradiada (I) determinada pelo esmalte de unha.

Quadro 3 – Orientações fornecidas pelos fabricantes para a aplicação do sistemas adesivos

SISTEMA ADESIVO	TÉCNICA DE APLICAÇÃO
Adper™ Scotchbond Multi-Purpose Plus 3M ESPE, St Paul, EUA	<ul style="list-style-type: none"> • Condicionar a superfície de dentina durante 15 segundos com ácido fosfórico a 37%; • Enxaguar com jato de água abundante por 15 segundos; • Secar, levemente, com jato de ar por 5 segundos; • Aplicar uma camada do primer; • Secar, gentilmente, durante 5 segundos; • Aplicar camada do adesivo; • Fotoativar por 20 segundos; • Proceder com a restauração.
Adper™ Singlebond 2 3M ESPE, St Paul, EUA	<ul style="list-style-type: none"> • Condicionar a superfície de dentina durante 15 segundos com ácido fosfórico a 37%; • Enxaguar com jato de água abundante por 15 segundos; • Secar, levemente, com jato de ar por 5 segundos; • Aplicar camada do adesivo; • Fotoativar por 20 segundos; • Proceder com a restauração.
Clearfil™ SE Bond Kuraray, Osaka, Japão	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar camada de primer sobre a superfície de dentina limpa e seca e aguardar 20 segundos; • Secar com leve jato de ar; • Aplicar uma camada de adesivo; • Aplicar leve jato de ar; • Fotoativar por 20 segundos; • Proceder com a restauração.
Adper™ EasyOne 3M ESPE, St Paul, EUA	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar camada do adesivo sobre a superfície de dentina limpa e seca e aguardar 20 segundos; • Secar com leve jato de ar; • Fotoativar por 20 segundos; • Proceder com a restauração.

Nos grupos Laser (L), após a aplicação do sistema adesivo, mas antes de sua fotoativação, foi irradiado laser de Diodo (SiroLaser, Sirona Dental Systems, Bensheim, Alemanha), no modo contato da fibra ótica, com inclinação de 90°, fazendo-se uma varredura da área pré-determinada pela matriz, num tempo de 30s. Vale ressaltar que o operador foi calibrado previamente para que a varredura percorresse toda a área delimitada no tempo de 30s. Os parâmetros utilizados para irradiação do laser de Diodo estão descritos no Quadro 1.

Na sequência o sistema adesivo foi fotoativado com aparelho LED, Blue Star 2 (Microdont, São Paulo, Brasil) com densidade de potência de $1\text{W}/\text{cm}^2$ por 20s, com a ponta posicionada perpendicularmente a superfície do espécime. O diâmetro da ponta do fotopolimerizador permitiu a cobertura de toda a área teste. Em seguida a resina composta Filtek™ Z250 foi inserida pela técnica incremental (3M ESPE, St Paul, EUA), com deposição consecutiva de três incrementos de 1,5mm de espessura. A fotoativação de cada incremento foi realizada com o mesmo aparelho LED por 20s. Após a aplicação da resina, os dentes foram imersos em água deionizada e mantidos em estufa a temperatura de 37°C por período de 7 dias.

4.3.4. Obtenção dos palitos

Após o período de armazenamento, os espécimes foram removidos da estufa e secos, e individualmente foram fixados, com cera pegajosa, em um dispositivo metálico de base plana, adaptável na cortadeira digital (Isomet™ LowSpeedSaw®, Buehler, Lake Bluff, EUA) para seccionamento com disco diamantado (Extec Dia. Waferblade 5"x.015x1/2, ExtecCorp-Einfeld, EUA), em baixa velocidade e sob refrigeração com água. Primeiramente, o seccionamento por desgaste foi realizado no sentido méso-distal da coroa, gerando fatias de espessura média de 1mm, as quais permaneceram presas na base do dispositivo pela ação retentiva da cera. Em seguida, girando-se a base metálica em 90° , fatias semelhantes foram obtidas no sentido vestibulo-lingual do mesmo dente, obtendo-se assim, espécimes em forma de palito com área transversal de aproximadamente 1mm^2 (Figura 7). Metade dos espécimes foi selecionada para realização dos testes imediatos, enquanto a outra metade foi armazenada em água deionizada numa estufa a 37°C durante um ano.

4.3.5. Teste de Microtração

Para a avaliação da resistência de união dos espécimes envelhecidos em água, foi medida a área transversal da interface adesiva com paquímetro digital (DigmaticCaliper, Mitutoyo Sul Americana, Rio de Janeiro, Brasil), cujos valores serão inseridos no software BlueHill Lite (BlueHill®MaterialsTesting Software,

Norwood, EUA). Em seguida, os palitos foram fixados individualmente ao dispositivo de microtração similar ao de Bencormulti T (DanvilleEngineering, Danville, CA, EUA) adaptado à máquina de ensaios universal INSTRON 3342 (Illinois Tool Works, Norwood, EUA). Para tanto, foi empregado um adesivo à base de cianocrilato (LoctiteSuperBonder Gel Control, Henkel Ltda, São Paulo, Brasil) em ambas as extremidades de cada corpo de prova, de modo a posicionar a interface adesiva perpendicular à força de tração desempenhada pela máquina (Figura 8). O teste foi realizado com velocidade de 0,5mm/min (ISO TR 11405), utilizando-se uma célula de carga de 500N para captação das forças. A resistência de união foi calculada pelo software a partir da razão entre força máxima (N) e área transversal da interface adesiva (mm²) previamente fornecida, obtendo-se valores em megapascal (MPa). Vale ressaltar que os espécimes testados imediatamente após sua confecção foram testados nas mesmas condições sob as quais foram testados os espécimes envelhecidos em água.

4.3.6. Análise de fratura

Os espécimes foram submetidos à análise de fratura com o auxílio de microscópio digital (Dino Lite Microscope 100x, AnMoElectronicsCorp, New Taipei City, Taiwan) para avaliação quanto a presença de remanescente de esmalte de unha, bem como de adesivo cianoacrilato que eventualmente pudesse ter escorrido até a interface. Os espécimes que apresentavam estas características foram excluídos. Ainda com microscópio digital, as superfícies fraturadas de ambos os segmentos foram analisadas quanto ao tipo de fratura, e classificadas em: adesiva (A) quando ocorreram na interface adesiva; coesiva em dentina (CD) quando ocorreram em substrato dentário (dentina); coesiva em resina composta (CR) quando a fratura ocorreu no material restaurador (resina composta) e mista (M) quando a fratura foi adesiva e coesiva. A quantidade de cada tipo de fratura foi convertida em porcentagem para avaliação.

4.3.7. Análise Estatística

Os valores de resistência de união foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a três critérios, seguido de teste de Tukey para comparações individuais, adotando $p \leq 0,05$.

Fonte: Maenosono RM, 2013

Figura 07: A) Máquina de cortes seriados (Isomet™ LowSpeedSaw®, Buehler, Lake Bluff, EUA). B) O primeiro corte é realizado no sentido méso-distal da coroa, gerando fatias de aproximadamente 1mm de espessura. C) Corte semelhante é realizado, agora no sentido vestibulo-lingual do mesmo dente, gerando palitos com área transversal de aproximadamente 1mm².

Fonte: Maenosono RM, 2013

Figura 08: O teste de microtração foi conduzido na máquina de ensaios universal INSTRON 3342 (A) (Illinois Tool Works, Norwood, EUA) utilizando-se dispositivo de microtração similar ao de Bencormulti T (T) com célula de carga de 500N (C). Os palitos foram fixados com adesivo à base de cianocrilato posicionando a interface adesiva perpendicular à força de tração (D).

5 Resultados

5 RESULTADOS

5.1. Absorvância

A absorvância de ondas eletromagnéticas no espectro visível e infravermelho próximo dos sistemas adesivos testados pode ser verificada no Gráfico 01. Pode-se observar que os sistemas adesivos não são capazes de absorver a energia luminosa localizada na região do espectro referente à irradiação com laser de Diodo (970nm), bem como do Laser Nd:YAG (1064nm). Uma maior absorvância pode ser verificada nos comprimentos de onda ultravioleta próximo, frequentemente verificados em polímeros resinosos.

Gráfico 01: Resultado do teste de absorvância, evidenciando que nenhum sistema adesivo é capaz de absorver ondas eletromagnéticas no comprimento de onda correspondente aos LASERs de Diodo (D) e Nd:YAG (ND). AMP - Adesivo ScotchBond Multipurpose; EO - EasyOne; SB - Single Bond; SBU - Single Bond Universal; ACSE - Adesivo ClearFil SE Bond; PCSE - Primer ClearFil SE Bond; P-MP - Primer Scotchbond Multipurpose.

5.2. Evaporação dos Solventes

Durante a análise de variância pôde-se observar que ambos os fatores Sistemas Adesivos e Tratamento apresentaram diferenças significativas, também com interação entre os fatores. Na análise de Tukey pôde-se verificar que houve alteração de massa superior quando o jato de Ar por 60s foi comparado com jato de ar 10s, e o laser por sua vez proporcionou uma alteração de massa superior ainda ao jato de ar por 60s, sem diferenças para a fotopolimerização. Entre os adesivos não foram constatadas diferenças durante as aplicações de jato de ar, no entanto, após a aplicação do laser e fotopolimerização o sistema adesivo SB obteve maior alteração de massa que o sistema adesivo CSE, sem diferenças, no entanto, para os demais sistemas adesivos.

Os valores de média e desvio padrão da alteração de massa (ΔM) dos sistemas adesivos e seus respectivos tratamentos encontram-se na Tabela 1 e Gráfico 02.

Tabela 1: Média e desvio padrão da alteração de massa (ΔM) em μg .

	Ar10s	Ar60s	Laser	Fotopolimerização
MP	0,32 $\pm$ 0,15Aa	0,70 $\pm$ 0,19Ab	1,08 $\pm$ 0,27ABc	1,13 $\pm$ 0,25ABc
SB	0,42 $\pm$ 0,17Aa	0,97 $\pm$ 0,22Ab	1,39 $\pm$ 0,23Bc	1,41 $\pm$ 0,26Bc
CSE	0,35 $\pm$ 0,16Aa	0,66 $\pm$ 0,22Ab	1,02 $\pm$ 0,20Ac	1,02 $\pm$ 0,20Ac
SU	0,46 $\pm$ 0,18Aa	0,93 $\pm$ 0,13Ab	1,18 $\pm$ 0,19ABc	1,20 $\pm$ 0,19ABc

Letras maiúsculas diferentes representam diferenças entre linhas ($p < 0,05$)

Letras minúsculas diferentes representam diferenças entre colunas ($p < 0,05$)

Gráfico 02: Representação gráfica dos valores de média e desvio padrão da alteração de massa (ΔM) em μg .

5.3. Teste de Resistência de União

Os fatores “Sistema Adesivo” e “Tempo” mostraram-se significativos sob ANOVA, enquanto o fator “Laser” não apresentou diferenças. Entretanto, uma interação entre os fatores “Sistema Adesivo” e “Laser” foi observada. A análise individual (Tukey) pode ser observada na Tabela 02.

Tabela 02: Valores de média e desvio padrão da resistência de união (MPa) obtida por meio do teste de microtração.

	Imediato		1 Ano	
	Sem Laser	Com Laser	Sem Laser	Com Laser
MP	40,10 $\pm$ 10,95Aa α	35,82 $\pm$ 7,17Aa α	20,85 $\pm$ 5,08Aa β	22,93 $\pm$ 10,26BCa α
SB	33,49 $\pm$ 6,77Aa α	43,69 $\pm$ 8,16Aa α	21,50 $\pm$ 6,99Aa α	37,58 $\pm$ 13,63Ab α
CSE	43,71 $\pm$ 15,71Aa α	37,95 $\pm$ 7,66Aa α	32,27 $\pm$ 10,09Aa α	30,20 $\pm$ 11,45ABa α
EO	19,67 $\pm$ 5,86Ba α	29,67 $\pm$ 6,98Aa α	9,74 $\pm$ 4,78Ba α	28,06 $\pm$ 8,83ABb α

Letras maiúsculas diferentes representam diferenças entre linhas (Sistemas Adesivos) ($p < 0,05$);

Letras minúsculas diferentes representam diferenças entre tratamentos (Sem Laser x Com Laser) ($p < 0,05$);

Letras gregas diferentes representam diferenças entre os tempos de avaliação (Imediato x 1 Ano) ($p < 0,05$).

- Comparação entre sistemas adesivos:

O sistema adesivo “EO” apresentou valores de resistência de união inferiores tanto no teste Imediato e Sem laser; quanto no teste após 1 ano e Sem Laser. Quando este sistema adesivo fora irradiado com Laser de Diodo, os valores de resistência de união não foram diferentes dos demais sistemas adesivos, e não observou-se queda em sua resistência de união após 1 ano.

O sistema adesivo “MP” apresentou uma redução dos valores de resistência de união após 1 ano de armazenamento, o que determinou que esse sistema adesivo apresentasse diferença com o adesivo “SB” irradiado com laser após 1 ano de envelhecimento. Os demais sistemas adesivos não apresentaram diferenças entre si, independente da irradiação com Laser ou do momento do teste

- Comparação entre tratamento (Sem Laser ou Com Laser):

Foi verificado que o laser foi capaz de proporcionar diferenças entre os sistemas adesivos simplificados (SB e EO) após 1 ano de armazenamento, uma vez que na ausência da irradiação com laser houve acentuada redução nos valores de resistência de união, e quando estes grupos foram irradiados com laser os valores de resistência de união foram mantidos. Nos demais sistemas adesivos a irradiação com laser não interferiu nos resultados de resistência de união.

- Comparação entre o momento do teste (Imediato ou após 1 Ano):

Apesar do fator “Tempo” mostrar-se como um fator significativo sob análise de variância, diferenças relevantes foram observadas apenas para o grupo MP Sem Laser, o qual demonstrou queda significativa dos valores de resistência de união após um ano.

Quanto à análise de fratura, observou-se que a grande maioria dos espécimes apresentaram falhas adesivas. Uma porção ligeiramente maior de fraturas coesivas foram identificadas no grupo SB-L Imediato, justamente o grupo que obteve os maiores valores de resistência de união. Os dados da análise de fratura podem ser verificados na Gráfico 03.

Gráfico 03: Porcentagem dos tipos de fratura por grupo.

6 Discussão

6 DISCUSSÃO

Para melhor compreensão e discussão dos resultados, este capítulo também será dividido entre as três avaliações realizadas: Absorvância, Evaporação dos Solventes, Teste de Resistência de União.

6.1. Absorvância

O teste de absorvância é de suma importância para verificar a interação entre sistema adesivo e os lasers empregados nos testes de adesão. Oliveira DC et al. (2015) utilizaram o espectrofotômetro de luz visível para avaliar a capacidade de absorção da luz de diferentes agentes fotoiniciadores das resinas compostas, no entanto, a faixa espectral analisada não compreendia o comprimento de onda dos LASERs de Diodo (970nm) e Nd:YAG (1064nm).

Para realizar esta investigação, dois espectrofotômetros poderiam ser utilizados: o espectrofotômetro no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR); ou o espectrofotômetro de luz visível e infravermelho próximo. Ambos seriam capazes de fornecer o resultado com eficiência semelhante, no entanto, haveria necessidade da compra de dispositivos específicos para que o comprimento de onda dos lasers de Diodo e Nd:YAG estivessem compreendidos na faixa espectral do FTIR. Desta forma, optou-se por uma parceria com o Instituto de Química da Universidade de São Paulo para realizar esta pesquisa.

Quanto aos resultados, observou-se qualitativamente que não houve absorção de ondas eletromagnéticas localizadas nas faixas espectrais dos lasers de Diodo e Nd:YAG, aceitando, desta forma, a hipótese nula de que não existe interação entre a luz destes lasers e os sistemas adesivos testados.

Apesar desta ausência de interação com os sistemas adesivos, a irradiação dos lasers de Diodo e Nd:YAG tem gerado valores superiores de resistência de união em sistemas adesivos simplificados (FRANKE et al., 2006; MARIMOTO et al., 2013; MAENOSONO et al., 2015). Pode-se especular que exista interação com o substrato dentinário, determinando, por exemplo, um aumento da temperatura de forma localizada que favoreceria a evaporação da água remanescente e dos solventes presentes nos sistemas adesivos e consequentemente a penetração destes em meio à dentina desmineralizada.

6.2. Evaporação dos Solventes

Com o objetivo de verificar se a irradiação com laser de Diodo é capaz de aumentar quantitativamente a evaporação de água remanescente na dentina e de solventes presentes no sistema adesivo, o presente estudo avaliou a massa de espécimes tratados com os sistemas adesivos submetidos a consecutivos tratamentos capazes de evaporar água remanescente e os solventes dos sistemas adesivos. Vale ressaltar que, para a realização desta etapa da pesquisa, o sistema adesivo Adper™ EasyOne saiu do mercado e não pôde ser adquirido para avaliação. Este foi substituído pelo adesivo Single Bond Universal, que também pode ser classificado como um sistema adesivo autocondicionante de passo único.

Inicialmente observou-se que o rápido jato de ar de 10s é capaz de reduzir a massa do espécime, no entanto, deve-se ressaltar que as condições do experimento são muito mais favoráveis que as condições clínicas na cavidade bucal, a qual apresenta umidade muito maior. No experimento a umidade do ar foi controlada entre 32 a 37%, e o espécime apresentava dimensões reduzidas (6x6x1), o que também favorecia a evaporação da água remanescente e dos solventes dos sistemas adesivos.

Na sequência, observou-se que após 60s de jato de ar existe uma queda significativa da massa do espécime, o que evidencia que grande quantidade de água e solvente podem ainda ser removidos nesta etapa clínica. Outros autores verificaram que a evaporação de água e solventes com jatos de ar aquecido tem capacidade de proporcionar maiores valores de resistência de união, evidenciando a importância desta etapa clínica (REIS et al., 2010).

Em testes piloto observou-se que após o período de 60s com jato de ar os valores de massa tendem a não se alterarem. Isso acontece devido ao equilíbrio entre a pressão de vapor dos líquidos e a pressão atmosférica, o que impede que água e solventes sejam evaporados (PASHLEY et al., 1998). Outros autores verificaram comportamento similar em sistemas adesivos com solventes baseado em etanol, atribuindo este comportamento à pressão máxima de vapor que os componentes tenham atingido (YIU et al., 2005).

Foi neste contexto que os espécimes foram então irradiados com laser de Diodo, o qual determinou valores ainda maiores de ΔM , indicando que ainda mais água e/ou solventes haviam sido evaporados, apesar dos valores máximos de evaporação em temperatura ambiente já terem sido supostamente atingidos. Especula-se que este comportamento possa ser explicado pelo aquecimento, uma das formas de aumentar a pressão de vapor da água e solventes dos sistemas adesivos infiltrados em dentina, proporcionando maior evaporação dos mesmos. No entanto, vale lembrar que um excessivo aumento da temperatura poderia causar danos irreversíveis à polpa caso este aumento de temperatura dentro da câmara pulpar seja superior a 5,5°C (ZACH; COHEN, 1965).

Neste contexto, a irradiação com laser (de Diodo ou Nd:YAG) é uma ferramenta altamente eficaz, uma vez que consegue promover grande aumento da temperatura, no entanto de forma superficial e localizada, sem transmitir excessivo calor à câmara pulpar. Esta habilidade do laser é resultante de sua coerência, que permite a entrega de energia em uma área bastante reduzida (alta densidade de energia), mesmo utilizando-se baixas quantidades de energia total. Vale ressaltar que utilizando exatamente o mesmo laser de Diodo, com os mesmos parâmetros e sistemas adesivos, Ishikiriyama et al. (2015) verificaram que o laser de Diodo não proporciona aumento de temperatura intracâmara pulpar superiores a 5,5°C.

Na sequência os espécimes foram fotoativados com LED azul por 20s, à uma densidade de potência de 1W/cm². A quantidade de energia entregue por este aparelho (1W) é bastante semelhante à do laser (0,8W), no entanto sabe-se que a luz azul é absorvida pelos componentes fotoativáveis, como a canforoquinona, que determina ainda uma reação exotérmica de polimerização, capaz também de aumentar a temperatura das amostras (ANDREATTA et al., 2016). Apesar disso, os valores de ΔM não se alteraram, sugerindo que após a desidratação intensa com jatos de ar e laser a fotoativação não foi capaz de remover mais água e/ou solventes dos sistemas adesivos mesmo com o aquecimento adicional que o procedimento induz.

Quanto aos diferentes tipos de sistemas adesivos testados, diferenças foram observadas apenas entre os sistemas adesivos SB e CSE após a irradiação com laser de Diodo. Estas diferenças podem ser atribuídas à composição destes sistemas adesivos. O sistema adesivo SB apresenta como solvente etanol, enquanto que o sistema adesivo CSE apresenta água em sua composição. Sabe-se que a

pressão de vapor do etanol é superior quando comparado com a água, o que pode, com auxílio da irradiação com laser, ter contribuído para maior evaporação de água no sistema adesivo SB (YIU et al., 2005).

Outros adesivos testados apresentam também água e etanol em sua composição (MP e SU respectivamente), no entanto diferenças não foram encontradas, apesar do sistema adesivo com etanol apresentar valores numéricos superiores de ΔM . Esta ausência de diferenças pode ser atribuída às diferentes concentrações de solventes utilizados em cada sistema adesivo, que podem interferir na capacidade de evaporação dos mesmos. Estudos com valores pré-determinados destes componentes são sugeridos para determinação do papel da composição e concentração dos solventes quando irradiados com laser de Diodo.

Batista et al. (2015) também avaliaram a capacidade de evaporação de água e solventes dos sistemas adesivos que a irradiação com laser apresenta, neste caso com Nd:YAG. Os resultados foram consistentes com o que foi observado no presente estudo, evidenciando que a irradiação com laser pode favorecer a evaporação de água e solventes, contribuindo para a hipótese de que o aumento dos valores de resistência de união, observados em testes de resistência de união imediatos (GONÇALVES; ARAÚJO; DAMIÃO, 1999; FRANKE et al., 2006; MARIMOTO et al., 2013; MAENOSONO et al., 2015), tenha sido causado por este mecanismo.

6.3. Teste de Resistência de União

O teste de resistência de união após envelhecimento dos espécimes tem sido aceito para predizer o comportamento clínico dos sistemas adesivos (HEINTZE et al., 2011). No presente trabalho, parte dos espécimes produzidos durante o curso de mestrado foi armazenado em água deionizada a 37°C por período de 12 meses, e na sequência foram testados quanto à resistência de união.

Os fatores “Sistema Adesivo” e “Tempo” foram considerados significativos sob ANOVA, no entanto, com interação entre os fatores “Sistema Adesivo” e “Laser”. Em outras palavras, dependendo do sistema adesivo, o laser é capaz de proporcionar diferença na resistência de união. Analisando-se individualmente o fator “Tempo”, pôde-se constatar que determinou redução nos valores de resistência de união dos sistemas adesivos testados. Este comportamento é frequentemente

observado na literatura e tem sido atribuído à degradação enzimática (PASHLEY et al., 2004; CARRILHO et al., 2007; TJADERHANE et al., 2013) e hidrolítica da camada híbrida (VAN LANDUYT et al., 2005; YIU et al., 2005).

Dentro do fator “Sistemas Adesivos”, os simplificados, em especial o de passo único “EO”, apresentaram valores de resistência de união inferiores aos sistemas adesivos não simplificados. Estes sistemas adesivos também são frequentemente questionados por este comportamento, o qual pode ser causado por sua maior permeabilidade, que pode acentuar a degradação da camada híbrida (TAY et al., 2002). Este comportamento inferior fatalmente contribuiu para que este sistema adesivo tenha sido removido do mercado.

O fator “Laser” não determinou diferenças significativas, no entanto, apresentou interação com o fator “Sistemas Adesivos”. Esta interação ocorreu exatamente nos sistemas adesivos simplificados, os quais obtiveram valores de resistência de união superiores ao respectivo grupo controle (Sem laser) em avaliação após armazenamento em água. Franke et al. (2006) e Marimoto et al. (2013) também observaram aumento nos valores de resistência de união quando sistemas adesivos simplificados foram irradiados com laser (Nd:YAG). Ademais, pode-se observar que, mesmo após 1 ano de armazenamento em água, os valores de resistência de união dos sistemas adesivos simplificados irradiados com laser não sofreram queda, sugerindo que a associação destes tratamentos possa produzir uma camada híbrida menos susceptível à degradação.

Outro grupo que não sofreu queda dos valores de resistência de união após armazenamento em água foi o grupo do sistema adesivo CSE, independente da irradiação com laser. Este comportamento pode ser atribuído à presença de MDP-10 em sua composição, capaz de determinar adesão química à hidroxiapatita, promovendo uma adesão mais eficiente à dentina (VAN MEERBEEK et al., 2011). Um estudos clínico controlado randomizado evidenciou que este sistema adesivo, após 13 anos de controle, apresenta uma taxa de sucesso clínico de 93% (PEUMANS et al., 2015).

A única investigação encontrada no levantamento bibliográfico de resistência de união após 12 meses de envelhecimento em água em que o laser fora utilizado após a aplicação dos sistemas adesivos foi a de Barcellos et al. (2015). Neste estudo o laser interferiu negativamente nos valores de resistência de união, especialmente após o período de armazenagem em água, no entanto, é importante

ressaltar que o substrato estudado foi o esmalte. Vale ressaltar que a adesão em esmalte é bastante consagrada quando a técnica incremental com condicionamento com ácido fosfórico é empregada. Neste contexto, uma maior evaporação de água e solventes potencialmente causada pela irradiação laser não seria capaz de proporcionar benefício à adesão ao esmalte.

Ruschel, Malta e Monteiro (2016) observaram ausência de alteração nos valores de resistência de união à dentina após envelhecimento em água, independente da irradiação com laser. No entanto, o período de armazenagem foi de três meses, o que possivelmente não foi um período suficiente para que os fenômenos de degradação da camada híbrida pudessem comprometer os valores de resistência de união.

Baseado nos resultados previamente obtidos, sugere-se que a obtenção da camada híbrida menos susceptível à degradação não seja causada pela interação do laser diretamente com os sistemas adesivos, uma vez que a luz nesse comprimento de onda não é absorvida pelo sistema adesivo. Provavelmente os resultados obtidos são melhor explicados pelo aumento de temperatura local proporcionado pela irradiação com laser, que consequentemente pode aumentar o grau de conversão dos sistemas adesivos (BRIANEZZI et al., 2017), e acentuar evaporação de água e solventes dos sistemas adesivos de forma mais eficiente que jato de ar por 60s, reduzindo assim os riscos de degradação hidrolítica da camada híbrida.

Caso essa hipótese seja verdadeira, sugere-se que novos estudos sejam realizados com lasers que apresentem comprimento de onda mais próximos do pico de absorção da água, como é o caso dos laser Er:YAG e Er,Cr:YSGG. Com uma absorção acentuada, é possível que os efeitos da irradiação com laser na camada híbrida possam ser ainda mais acentuados.

7 Conclusões

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que a irradiação com laser de Diodo seja capaz de favorecer a adesão à dentina não pela interação do laser de Diodo diretamente com os sistemas adesivos testados, mas por meio de um aumento localizado de temperatura, capaz de favorecer a evaporação de água e solventes remanescentes dos sistemas adesivos. Além disso, para sistemas adesivos simplificados, que apresentam etanol na composição, a irradiação com laser é capaz de evitar com que os efeitos da degradação da camada híbrida após período de armazenagem sejam perceptíveis em testes de resistência de união.

Desta forma, apenas a hipótese nula número 1 foi aceita, uma vez que não foram encontradas diferenças na absorção de luz no comprimento de onda do laser de Diodo entre os diferentes sistemas adesivos testados. As demais hipóteses nulas foram aceitas, uma vez que diferenças foram encontradas tanto nos métodos de evaporação de solventes, quanto na evaporação dos diferentes sistemas adesivos. Além disso, no teste de resistência de união, foram observadas diferenças ou interações para todos os fatores avaliados (sistemas adesivos, laser e períodos de avaliação).

Referências

REFERÊNCIAS

- Agee KA, Prakki A, Abu-Haimed T, Naguib GH, Nawareg MA, Tezvergil-Mutluay A, Scheffel DL, Chen C, Jang SS, Hwang H, Brackett M, Grégoire G, Tay FR, Breschi L, Pashley DH. Water distribution in dentin matrices: bound vs. unbound water. *Dent Mater*. 2015 Mar;31(3):205-16.
- Andreatta LM, Furuse AY, Prakki A, Bombonatti JF, Mondelli RF. Pulp chamber heating: an in vitro study evaluating different light sources and resin composite layers. *Braz Dent J*. 2016 Oct-Dec;27(6):675-680.
- Ayar MK, Yildirim T. Effects of ER,CR:YSGG laser pulse frequency on microtensile bond strength to enamel. *Oper Dent*. 2017 Jan/Feb;42(1):53-61.
- Barcellos DC, Batista GR, Pucci CR, Persici ES, Borges AB, Torres CR, Fonseca BM, Gonçalves SE. Longitudinal Evaluation of Bond Strength to Enamel of Dental Adhesive Systems Associated with Nd:YAG Laser. *Oper Dent*. 2015 May-Jun;40(3):E122-31.
- Batista GR, Barcellos DC, Rocha Gomes Torres C, Damião ÁJ, de Oliveira HP, de Paiva Gonçalves SE. Effect of Nd:YAG laser on the solvent evaporation of adhesive systems. *Int J Esthet Dent*. 2015 Winter;10(4):598-609.
- Bornstein ES. Why wavelength and delivery systems are the most important factors in using a dental hard-tissue laser: a literature review. *Compend Contin Educ Dent*. 2003 Nov;24(11):837-8.
- 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 Jan;24(1):90-101.
- Brianezzi LFF, Maenosono RM, Bim Junior O, Zabeu GS, Palma-Dibb RG, Ishikiriyama SK. Diode laser irradiation improves the degree of conversion of simplified dentin bonding systems. *J Appl Oral Sci*. 2017 (Aceito para publicação)
- Carrilho MRO, Geraldeli S, Tay F, de Goes MF, Carvalho RM, Tjaderhane L, et al. In vivo preservation of the hybrid layer by chlorhexidine. *J Dent Res*. 2007;86(6):529-33.
- Carvalho AA, Moreira Fdo C, Fonseca RB, Soares CJ, Franco EB, Souza JB, Lopes LG. Effect of light sources and curing mode techniques on sorption, solubility and

biaxial flexural strength of a composite resin. *J Appl Oral Sci.* 2012 Mar-Apr;20(2):246-52.

Ceballos L, Osorio R, Toledano M, Marshall GW. Microleakage of composite restorations after acid or Er-YAG laser cavity treatments. *Dent Mater.* 2001 Jul;17(4):340-6.

Cersosimo MC, Matos AB, Couto RS, Marques MM, de Freitas PM. Short-pulse Er:YAG laser increases bond strength of composite resin to sound and eroded dentin. *J Biomed Opt.* 2016 Apr 30;21(4):48001.

De Munck J, Van Meerbeek B, Yudhira R, Lambrechts P, Vanherle G. Micro-tensile bond strength of two adhesives to Erbium : YAG-lased vs. bur-cut enamel and dentin. *Eur J Oral Sci.* 2002;110(4):322-9.

Dostalova T, Jelinkova H, Kucerovala H, Krejsa O, Hamal K, Kubelka J, et al. Noncontact Er : YAG laser ablation: Clinical evaluation. *J Clin Laser Med Surg.* 1998;16(5):273-82.

Ferracane JL. Resin composite--state of the art. *Dent Mater.* 2011 Jan;27(1):29-38.

Franke M, Taylor AW, Lago A, Fredel MC. Influence of Nd : YAG laser irradiation on an adhesive restorative procedure. *Oper Dent.* 2006;31(5):604-9.

Fusayama T, Nakamura M, Kurosaki N, Iwaku M. Non-pressure adhesion of a new adhesive restorative resin. *J Dent Res.* 1979 Apr;58(4):1364-70.

Gan J, Liu S, Zhou L, Wang Y, Guo J, Huang C. Effect of Nd:YAG Laser Irradiation Pretreatment on the Long-Term Bond Strength of Etch-and-Rinse Adhesive to Dentin. *Oper Dent.* 2017 Jan/Feb;42(1):62-72.

Garcia FC, Wang L, Pereira LC, de Andrade e Silva SM, Júnior LM, Carrilho MR. Influences of surface and solvent on retention of HEMA/mixture components after evaporation. *J Dent.* 2010 Jan;38(1):44-9.

Goncalves SEP, De Araujo MAM, Demiao AJ. Dentin bond strength: Influence of laser irradiation, acid etching, and hypermineralization. *J Clin Laser Med Surg.* 1999;17(2):77-85.

Heintze SD, Thunpithayakul C, Armstrong SR, Rousson V. Correlation between microtensile bond strength data and clinical outcome of Class V restorations. *Dent Mater.* 2011;27(2):114-25.

- Ishikiriana SK, Maenosono RM, Brianezzi LFF, Cunha VMV, Mondelli RFL. Intra pulp chamber temperature variation caused by Nd:YAG and Diode LASER irradiation. *Braz Dent Sci.* 2015;18(1):116-20.
- Jacobsen T, Söderholm KJ. Some effects of water on dentin bonding. *Dent Mater.* 1995 Mar;11(2):132-6.
- Konno AN, Sinhoretta MA, Consani S, Correr Sobrinho L, Consani RL. Storage effect on the shear bond strength of adhesive systems. *Braz Dent J.* 2003;14(1):42-7.
- Levin L, Coval M, Geiger SB. Cross-sectional radiographic survey of amalgam and resin-based composite posterior restorations. *Quintessence Int.* 2007 Jun;38(6):511-4.
- Maenosono RM, Ordoñez-Aguilera JF, Bim Junior O, Franco EB, Mondelli RFL, Ishikiriana SK. Aesthetic solution for intrinsic alterations of dental enamel. *Full Dent Sci.* 2013;4(16):615-20
- Maenosono RM. Resistência de união à dentina de sistemas adesivos irradiados com laser de diodo: estudo *in vitro* [dissertação]. Bauru (SP): Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 2013.
- Maenosono RM, Bim Júnior O, Duarte MA, Palma-Dibb RG, Wang L, Ishikiriana SK. Diode laser irradiation increases microtensile bond strength of dentin. *Braz Oral Res.* 2015;29:1-5.
- Malacarne-Zanon J, Pashley DH, Agee KA, Foulger S, Alves MC, Breschi L, Cadenaro M, Garcia FP, Carrilho MR. Effects of ethanol addition on the water sorption/solubility and percent conversion of comonomers in model dental adhesives. *Dent Mater.* 2009 Oct;25(10):1275-84.
- Malta DAMP, Costa MM, Pelino JEP, de Andrade ME, Lizarelli RFZ. Bond strength of an adhesive system irradiated with Nd : YAG laser in dentin treated with Er : YAG laser. *Laser Phys Lett.* 2008;5(2):144-50.
- Matos AB, Oliveira DC, Kuramoto M Jr, Eduardo CP, Matson E. Nd:YAG laser influence on sound dentin bond strength. *J Clin Laser Med Surg.* 1999;17(4):165-9.
- Matos AB, Oliveira DC, Navarro RS, de Eduardo CP, Matson E. Nd:YAG laser influence on tensile bond strength of self-etching adhesive systems. *J Clin Laser Med Surg.* 2000 Oct;18(5):253-7.

Marimoto AK, Cunha LA, Yui KC, Huhtala MF, Barcellos DC, Prakki A, Gonçalves SE. Influence of Nd:YAG laser on the bond strength of self-etching and conventional adhesive systems to dental hard tissues. *Oper Dent*. 2013 Jul-Aug;38(4):447-55.

Mertz-Fairhurst EJ, Curtis JW Jr, Ergle JW, Rueggeberg FA, Adair SM. Ultraconservative and cariostatic sealed restorations: results at year 10. *J Am Dent Assoc*. 1998 Jan;129(1):55-66.

Mjor IA, Dahl JE, Moorhead JE. Age of restorations at replacement in permanent teeth in general dental practice. *Acta Odontol Scand*. 2000;58(3):97-101.

Moretto SG, Azambuja N Jr, Arana-Chavez VE, Reis AF, Giannini M, Eduardo Cde P, De Freitas PM. Effects of ultramorphological changes on adhesion to lased dentin-scanning electron microscopy and transmission electron microscopy analysis. *Microsc Res Tech*. 2011 Aug;74(8):720-6.

Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res*. 1982;16:265-73.

Nihi FM, Fabre HS, Garcia G, Fernandes KB, Ferreira FB, Wang L. In vitro assessment of solvent evaporation from commercial adhesive systems compared to experimental systems. *Braz Dent J*. 2009;20(5):396-402.

Oliveira DC, Rocha MG, Gatti A, Correr AB, Ferracane JL, Sinhoret MA. Effect of different photoinitiators and reducing agents on cure efficiency and color stability of resin-based composites using different LED wavelengths. *J Dent*. 2015 Dec;43(12):1565-72.

Pashley EL, Zhang Y, Lockwood PE, Rueggeberg FA, Pashley DH. Effects of HEMA on water evaporation from water-HEMA mixtures. *Dent Mater*. 1998 Jan;14(1):6-10.

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(3):216-21.

Pashley DH, Tay FR, Breschi L, Tjäderhane L, Carvalho RM, Carrilho M, Tezvergil-Mutluay A. State of the art etch-and-rinse adhesives. *Dent Mater*. 2011 Jan;27(1):1-16.

-
- Pashley DH, Carvalho RM. Dentine permeability and dentine adhesion. *J Dent*. 1997 Sep;25(5):355-72.
- Peumans M, Kanumilli P, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: a systematic review of current clinical trials. *Dent Mater*. 2005 Sep;21(9):864-81.
- Peumans M, De Munck J, Van Landuyt K, Van Meerbeek B. Thirteen-year randomized controlled clinical trial of a two-step self-etch adhesive in non-carious cervical lesions. *Dent Mater*. 2015 Mar;31(3):308-14.
- Raucci-Neto W, Raquel Dos Santos C, Augusto de Lima F, Pécora JD, Bachmann L, Palma-Dibb RG. Thermal effects and morphological aspects of varying Er:YAG laser energy on demineralized dentin removal: an in vitro study. *Lasers Med Sci*. 2015 May;30(4):1231-6.
- Reis A, Klein-Júnior CA, de Souza FH, Stanislawczuk R, Loguercio AD. The use of warm air stream for solvent evaporation: effects on the durability of resin-dentin bonds. *Oper Dent*. 2010 Jan-Feb;35(1):29-36.
- Ruschel VC, Malta DAMP, Monteiro Jr S. Dentin bond strength of an adhesive system irradiated with an Nd:YAG laser. *Laser Phys*. 2016;26(11):1-5
- Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, Pashley DH. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength--evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater*. 1994 Jul;10(4):236-40.
- Silva TM, Gonçalves LL, Fonseca BM, Esteves SR, Barcellos DC, Damião AJ, Gonçalves SE. Influence of Nd:YAG laser on intrapulpal temperature and bond strength of human dentin under simulated pulpal pressure. *Lasers Med Sci*. 2016 Jan;31(1):49-56.
- Souza-Zaroni WC, Chinelatti MA, Delfino CS, Pécora JD, Palma-Dibb RG, Corona SA. Adhesion of a self-etching system to dental substrate prepared by Er:YAG laser or air abrasion. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2008 Aug;86(2):321-9.
- Spencer P, Ye Q, Park J, Topp EM, Misra A, Marangos O, Wang Y, Bohaty BS, Singh V, Sene F, Eslick J, Camarda K, Katz JL. Adhesive/Dentin interface: the weak link in the composite restoration. *Ann Biomed Eng*. 2010 Jun;38(6):1989-2003.

Tachibana A, Marques MM, Pavan Soler JM, Matos AB. Erbium, chromium : yttrium scandium gallium garnet laser for caries removal: influence on bonding of a self-etching adhesive system. *Lasers Med Sci*. 2008;23(4):435-41.

Tay FR, Pashley DH, Yoshiyama M. Two modes of nanoleakage expression in single-step adhesives. *J Dent Res*. 2002;81(7):472-6.

Tay FR, Pashley DH, Suh B, Carvalho R, Miller M. Single-step, self-etch adhesives behave as permeable membranes after polymerization. Part I. Bond strength and morphologic evidence. *Am J Dent*. 2004 Aug;17(4):271-8.

Tjaderhane L, Nascimento FD, Breschi L, Mazzoni A, Tersariol IL, Geraldeli S, et al. Optimizing dentin bond durability: Control of collagen degradation by matrix metalloproteinases and cysteine cathepsins. *Dent Mater*. 2013;29(1):116-35.

Van Landuyt KL, De Munck J, Snauwaert J, Coutinho E, Poitevin A, Yoshida Y, Inoue S, Peumans M, Suzuki K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Monomer-solvent phase separation in one-step self-etch adhesives. *J Dent Res*. 2005 Feb;84(2):183-8.

Van Meerbeek B, Perdigao J, Lambrechts P, Vanherle G. The clinical performance of adhesives. *J Dent*. 1998;26(1):1-20.

Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, Van Landuyt K, Lambrechts P, Vanherle G. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent*. 2003 May-Jun;28(3):215-35.

Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. *Dent Mater*. 2011 Jan;27(1):17-28.

Visuri SR, Walsh JT, Wigdor HA. Erbium laser ablation of dental hard tissue: Effect of water cooling. *Lasers Surg Med*. 1996;18(3):294-300.

Wang Y, Spencer P. Hybridization efficiency of the adhesive/dentin interface with wet bonding. *J Dent Res*. 2003 Feb;82(2):141-5.

Watanabe I, Nakabayashi N, Pashley DH. Bonding to ground dentin by a phenyl-P self-etching primer. *J Dent Res*. 1994 Jun;73(6):1212-20.

Yiu CK, Pashley EL, Hiraishi N, King NM, Goracci C, Ferrari M, Carvalho RM, Pashley DH, Tay FR. Solvent and water retention in dental adhesive blends after evaporation. *Biomater*. 2005 Dec;26(34):6863-72.

Yoshida Y, Yoshihara K, Nagaoka N, Hayakawa S, Torii Y, Ogawa T, Osaka A, Meerbeek BV. Self-assembled nano-layering at the adhesive interface. *J Dent Res*. 2012 Apr;91(4):376-81.

Zach L, Cohen G. Pulp response to externally applied heat. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1965 Apr;19:515-30.

Anexo

ANEXO A – Parecer Consubstanciado do CEP

Anexo A - Parecer substanciado do CEP

FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DE BAURU-

PROJETO DE PESQUISA

Título: Resistência de união à dentina de sistemas adesivos irradiados com laser de diodo: estudo in vitro

Área Temática:

Área 9. A critério do CEP.

Versão: 2

CAAE: 05737812.7.0000.5417

Pesquisador: Rafael Massunari Maenoso

Instituição: Faculdade de Odontologia de Bauru-USP

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

Número do Parecer: 111.666

Data da Relatoria: 26/09/2012

Apresentação do Projeto:

Título: "Resistência de união à dentina de sistemas adesivos irradiados com LASER de diodo: estudo in vitro"

Objetivo da Pesquisa:

avaliar o efeito da irradiação do LASER de Diodo sobre diferentes sistemas adesivos, na resistência adesiva à dentina.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Risco: o estudo não oferece riscos ao sujeito da pesquisa uma vez que serão utilizados os dentes já extraídos por razões terapêuticas.

Benefício: o trabalho visa a obtenção de uma adesão mais efetiva entre materiais restauradores e dente, a fim de reduzir ou evitar falhas deste material na restauração de dentes.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de uma investigação interessante, aliando a tecnologia do laser ao procedimento restaurador, com o intuito de otimizar a performance do material adesivo já existente no mercado, que ainda apresenta deficiências quando usado sem essa associação proposta. É um passo inicial que poderá ser seguido de outros trabalhos complementares, visando a aplicação clínica futura.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Foram apresentados todos os documentos obrigatórios. Com relação à observação feita, sobre a necessidade de anexar outros termos de doação, devido à colaboração de outros profissionais doando dentes à pesquisa, eles não foram necessários. Somente o Serviço de Urgência da FOB, foi responsável pela doação, e o termo de doação deste serviço já havia sido apresentado.

Recomendações:

Todas as recomendações feitas foram acatadas:

- correção do título;
- correção da metodologia, indicando o Serviço de Urgência como o único responsável pela doação dos dentes;
- correção no cronograma com relação ao prazo para a coleta de dentes; prazo para a redação da dissertação e adequação deste cronograma nos dois documentos que apresentam o projeto de pesquisa (Plataforma Brasil e em texto);

Endereço: DOUTOR OCTAVIO PINHEIRO BRISOLLA 75 QUADRA 9

Bairro: VILA NOVA CIDADE UNIVERSITARIA **CEP:** 17.012-901

UF: SP **Município:** BAURU

Telefone: (14)3235-8356

Fax: (14)3235-8356

E-mail: mferrari@fob.usp.br

**FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DE BAURU-**

- correção da descrição dos grupos, que são 8 no total, sem subgrupos, como havia sido redigido no item Resumo do "Detalhamento do Estudo"(Plataforma Brasil);
- descrição da composição dos grupos no item "Metodologia Proposta", que só era apresentada sem detalhes, no "Resumo"

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Esse trabalho de pesquisa apresenta uma idéia bastante interessante com possibilidade de aplicação prática em futuro próximo. Todas as falhas apontadas na descrição do projeto e na apresentação dos documentos necessários, foram devidamente corrigidas.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

O CEP acata o parecer do relator.

Esse projeto foi considerado APROVADO. O CEP-FOB/USP exige a apresentação de relatórios anuais (parciais e finais), conforme o cronograma apresentado. Qualquer alteração na metodologia e/ou título e a inclusão ou exclusão de autores deverá ser prontamente comunicada. Lembramos que na apresentação do relatório final, deverão ser incluídos todos os TCLEs e/ou termos de doação de dentes devidamente assinados e rubricados.

BAURU, 01 de Outubro de 2012

Assinado por:
Maria Teresa Atta
(Coordenador)

Endereço: DOUTOR OCTAVIO PINHEIRO BRISOLLA 75 QUADRA 9
Bairro: VILA NOVA CIDADE UNIVERSITARIA **CEP:** 17.012-901
UF: SP **Município:** BAURU
Telefone: (14)3235-8356 **Fax:** (14)3235-8356 **E-mail:** mferrari@fob.usp.br