



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE ARARAQUARA



Filipe de Oliveira Abi Rached

*Efeito de tratamentos de superfície
do titânio comercialmente puro
na resistência de união com
cimentos ionomérico e resinosos*

ARARAQUARA

2011

**UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE ARARAQUARA**

Filipe de Oliveira Abi Rached

**EFEITO DE TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE DO TITÂNIO
COMERCIALMENTE PURO NA RESISTÊNCIA DE UNIÃO COM
CIMENTOS IONOMÉRICO E RESINOSOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Reabilitação Oral – Área de Prótese, da Faculdade de Odontologia de Araraquara, da Universidade Estadual Paulista para obtenção do título de Mestre em Reabilitação Oral.

Orientadora: Profa. Dra. Renata Garcia Fonseca

Araraquara

2011

Abi Rached, Filipe de Oliveira

Efeito de tratamentos de superfície do titânio comercialmente puro na resistência de união com cimentos ionomérico e resinosos / Filipe de Oliveira Abi Rached. – Araraquara: [s.n.], 2011.

125 f.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Odontologia

Orientadora : Profa. Dra. Renata Garcia Fonseca

1. Resistência ao cisalhamento 2. Cimentos dentários 3. Titânio
I. Título

Filipe de Oliveira Abi Rached

**EFEITO DE TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE DO TITÂNIO
COMERCIALMENTE PURO NA RESISTÊNCIA DE UNIÃO COM
CIMENTOS IONOMÉRICO E RESINOSOS**

COMISSÃO JULGADORA

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

Presidente e orientadora: Profa. Dra. Renata Garcia Fonseca

2º Examinador: Prof. Dr. Gelson Luis Adabo

3º Examinador: Prof. Dr. Paulo Francisco Cesar

Araraquara, 31 de março de 2011.

DADOS CURRICULARES

Filipe de Oliveira Abi Rached

NASCIMENTO	13.10.1982 Araraquara/SP
FILIAÇÃO	Farid Jacob Abi Rached Lucia Helena de Oliveira Abi Rached
2002 - 2005	Curso de Graduação Faculdade de Odontologia de Araraquara Universidade Estadual Paulista – UNESP
2006 - 2008	Curso de Especialização em Prótese Dentária Hospital de Reabilitação de Anomalias Craniofaciais Universidade de São Paulo – USP – Bauru/SP
2009 - 2011	Curso de Mestrado – Área de Prótese Programa de Pós-Graduação em Reabilitação Oral Faculdade de Odontologia de Araraquara Universidade Estadual Paulista - UNESP

Dedicatória

Aos meus avós

Helena (*in memorian*) e ***Jacob*** (*in memorian*)

Adolfo (*in memorian*) e ***Maria Isa***

Pessoas especiais, corajosas e batalhadoras! Vocês são um incentivo para seguir em frente. Agradeço do fundo do coração o legado de vida por vocês transmitido.

Aos meus pais ***Farid*** e ***Lúcia***

É difícil expressar em palavras o que vocês significam em minha vida. Admiração é muito pouco perto do que sinto por vocês.

Agradeço imensamente por sempre prezarem por minha felicidade, abdicando muitas vezes de seus objetivos e sonhos, me apoiarem em todas as minhas decisões, me aconselharem nas dúvidas e angústias e serem a força necessária nos momentos de fraqueza.

Saibam que esta conquista é também de vocês. Amo vocês eternamente!

À minha irmã ***Lilian***,

pela ajuda incondicional, torcida, conselhos e momentos divididos.

Espero que Deus com sua infinita onipotência e onisciência trilhe um caminho repleto de felicidades para você. Você merece. Te amo!

Dedico com amor este trabalho.

Agradecimentos Especiais

À Deus

Por ter me dado em primeiro lugar a vida, a oportunidade de evoluir e a força necessária para chegar até aqui, superando adversidades e momentos algumas vezes difíceis.

Obrigado por ter sempre trilhado em minha vida caminhos que eu desejasse seguir. **Só tenho a agradecer hoje e sempre.**

À minha tia **Suhad**

Por todo o carinho e cuidado sempre por mim demonstrados desde a infância.

Pessoa de infinita bondade, muito voltada à família e filha de dedicação admirável. Quisera as pessoas aprendessem ou copiassem um pouco estas suas características.

Deus com sua infinita sabedoria despertou seu dom de “mãe” na função de “tia”.

Muito obrigado!

A todos os meus **familiares**

Por sempre acreditarem em mim, pelo valioso incentivo, harmonia e amor permutados.

Agradecimento Especial

À Profa. Dra. Renata Garcia Fonseca

Por todo o cuidado em sua orientação, não só na vida acadêmica, mas também na vida cotidiana. Acredito que este dom faça com que seja uma orientadora diferenciada e humana.

Pessoa amiga e equilibrada que admiro muito.

Obrigado por todos os ensinamentos, incentivo, apoio nas minhas decisões, confiança no meu trabalho e mais do que isso, pelo livre-arbítrio muitas vezes tolhido por muitos orientadores, o que a fazem especial.

Meus sinceros e eternos agradecimentos!

Agradecimento Especial

Ao amigo ***Prof. Dr. João Gustavo Rabelo Ribeiro***

Por ter me dado a oportunidade de realizar um sonho na época da graduação, um estágio de iniciação científica. Algumas portas se fecharam, mas eu mal poderia esperar que você abriria uma outra e me convidaria para entrar. Deus é sábio mesmo! Porque nesta porta não encontrei apenas um orientador na vida científica, mas acima de tudo um amigo que admiro muito.

Agradeço por sempre ter me incentivado e confiado em mim, dando-me oportunidade de mostrar meu trabalho.

Saiba que tudo isso reforçou cada vez mais minha vontade de seguir na vida acadêmica, sendo assim sintá-se também responsável por mais esta etapa vencida em minha vida.

Muito obrigado!

Agradecimento Especial

Ao amigo ***Prof. Dr. José Maurício dos Santos Nunes Reis***

Por todas as oportunidades concedidas, pelo apoio incondicional e pela harmoniosa convivência durante o meu estágio de docência. Estar ao seu lado é um aprendizado e incentivo constantes, por você ser apaixonado pelo que faz. Saiba que o admiro muito e me orgulho por sempre ter depositado tamanha confiança em mim.

Obrigado por todos os momentos compartilhados, troca de experiências e conselhos, não só na faculdade, mas no dia-a-dia.

Você é um “irmão” para mim.

Minha eterna gratidão!

Agradecimentos Especiais

Aos ***Professores Drs. Carlos Alberto dos Santos Cruz,***

Gelson Luis Adabo e Luis Geraldo Vaz

Pelos ensinamentos, respeito, acolhimento, amizade, confiança, disponibilidade em ajudar, oportunidade de trabalharmos juntos e harmoniosa convivência durante esta caminhada, facilitando a concretização deste sonho. **Muito obrigado!**

À amiga ***Isabella Haneda***

Pelo incentivo, apoio e colaboração no início desta minha jornada.

Agradeço também pelos “bate-papos” e momentos divididos, que ficarão sempre na lembrança.

Ao amigo-irmão ***Antonio Júnior***

Pelo incentivo, conselhos, troca de experiências, ajuda nos momentos necessários, brincadeiras e convivência harmoniosa que fazem com que atinjam nossos objetivos mais facilmente. Esse tempo ficará na memória para sempre. **Obrigado pela amizade verdadeira!**

Agradecimentos

À **Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”**, representada pelo digníssimo diretor Prof. Dr. José Cláudio Martins Segalla e pela vice-diretora Profa. Dra. Andréia Affonso Barretto Montandon, tanto pela minha formação profissional quanto pela oportunidade da realização deste trabalho.

Ao **Programa de Pós-Graduação em Reabilitação Oral**, área de Prótese, da Faculdade de Odontologia de Araraquara, representado pelo Prof. Dr. Carlos Eduardo Vergani, pela conclusão do curso de Pós-Graduação em nível de Mestrado.

Ao **Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese**, representado pela Profa. Dra. Regina Helena Barbosa Tavares da Silva, chefe do departamento, e pelo Prof. Dr. Francisco de Assis Mollo Júnior, vice-chefe.

A **todos os professores do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese** pela amizade, compreensão, incentivo e ensinamentos.

Às **funcionárias do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese: Miriam, Malú, Martinha, Dedé e D. Adelaide**, pela amizade, convivência, compreensão, carinho, presteza e ajuda sempre nos momentos em que precisei. Muito obrigado!

Aos **técnicos em prótese dentária do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese: Júnior, Mané, Zé Carlinhos e Fernando**, pela amizade, convívio harmonioso, brincadeiras e colaboração. Agradeço ao Júnior por ter me agüentado muitas vezes utilizando a politriz no Laboratório de Prótese Total, pela companhia e conversas trocadas.

Ao **Prof. Dr. Gelson Luis Adabo** pela imensa colaboração na fase experimental de fundição dos discos em titânio, essencial para a realização deste trabalho.

Ao **Prof. Dr. Marco Antonio Compagnoni** e à **Profa. Dra. Ana Carolina Pero Vizoto** pela autorização para utilizar a politriz do Laboratório de Prótese Total, fundamental para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

À funcionária **Cláudia** da Disciplina de Periodontia e ao funcionário **Pedrinho** da Disciplina de Histologia por sempre terem me atendido prontamente e com muita disponibilidade para o fornecimento de água destilada utilizada em uma das etapas experimentais deste trabalho.

Ao engenheiro **Edson Volta** e ao técnico em eletrônica **Ricardo Antunes**, juntamente com o **Prof. Dr. Osvaldo Zaniquelli**, pelo respeito, amizade, imensa colaboração e dedicação no ensaio de cisalhamento realizado no Laboratório Integrado de Pesquisa em Biocompatibilidade de Materiais na Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo.

Ao meu primo **Alexandre Buainain** pela confecção de algumas matrizes utilizadas no presente trabalho. Muito Obrigado!

Aos membros da banca do Exame Geral de Qualificação: **Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos Cruz** e **Profa. Dra. Ligia Antunes Pereira Pinelli** por prontamente aceitarem meu convite, pelo incentivo e sugestões.

Aos **amigos da 77ª turma do Curso de Odontologia** da Faculdade de Odontologia de Araraquara.

À **Profa. Dra. Fernanda Lopez Rosell** e ao **Prof. Dr. José Cláudio Martins Segalla (Caco)** pelo apoio e amizade compartilhados durante a realização dos meus estágios de iniciação científica.

Aos **Professores da Especialização em Prótese Dentária do Centrinho de Bauru**: José Fernando, Rosângela, João Henrique e Mônica, por todos os ensinamentos, amizade e momentos compartilhados. De nada adiantaria eu aprender o dom de ensinar se eu não tivesse a base clínica tão bem transmitida por vocês. Muito obrigado!

Aos **amigos da época da especialização**: Ana Cláudia, Daniella, Fábio, Flávia, Isabela, Letícia, Mariana, Pâmela, Rafael, Renato e Tânia. Vocês estarão para sempre na lembrança!

A todos os **amigos, funcionários e pacientes** do Centrinho de Bauru. Em especial às funcionárias **Adriana, Emília, Elisa e Sabrina**.

À **minha turma de Mestrado**: Amanda, Delise, Diana, Eduardo, Giovana, Juliana, Karen, Larissa, Mariana Andrade, Mariana Basílio e Sabrina, pela amizade, por todos os momentos compartilhados e troca de experiências.

Aos **amigos do Doutorado**: Ana Lucia, Ana Paula, André, Camila (Camilinha), Carlos Eduardo (Cadu), Carolina (Carol), Cristiane, Fernanda, Flavia, Juliano Vasconcelos, Juliano de Pierri, Juliê, Laiza, Luciano Pedrin, Luis Eduardo (Dudu) e Rodrigo, pelo convívio agradável ao longo desses anos.

Aos **demais amigos da Pós-Graduação**: Érica Jorge, Norberto, Sergei e Marília, Alexandre e Beatriz, Leila, Ana Lúcia (Naná), Ana Patrícia e Cibele, pelo compartilhamento de experiências e apoio.

A todos os meus amigos de longa data e àqueles mais recentes: **Natália, Marília, Marcela, Rafael, Fábio, Bruno, Lígia e Gustavo, Gabriela, Mariana Marques, Roberta Garcia, Simone, Indri e César, Ewerton, Marcelo e Ariane, Fabiana Carlino, Paula e Henrique, Mário e Juliane, Andrea Jorge**. Muito obrigado pela amizade sincera, pelos conselhos, companhia e apoio incondicional em diversas etapas da minha vida. Vocês estarão para sempre na memória e no coração.

Aos amigos **Thiago Figueiredo** e **Carolina Martins** pelo companheirismo, incentivo, apoio incondicional e amizade sincera. Thi, você é um grande exemplo, por sua admirável força de vontade e determinação. Obrigado pelos bons momentos compartilhados. Torço muito por você!

À **Marta** e **Dona Diva**, funcionárias de casa, por todo o companheirismo, brincadeiras e carinho. Obrigado por tornarem o meu dia-a-dia mais fácil com o trabalho de vocês, o que muito colaborou com a conquista deste título.

Aos **Professores Drs. Ivan Ribeiro de Faria, José Cláudio Martins Segalla e Ligia Pereira Antunes Pinelli e Regina Helena Barbosa Tavares da Silva**, pela receptividade e convívio durante a realização do meu estágio de docência na Disciplina de Prótese Fixa Convencional e Sobre Implantes.

Aos **alunos de graduação da turma 82**, em especial, àqueles do setor do Prof. José Maurício, pelo respeito e confiança em minhas palavras, mas também pela amizade cultivada durante a realização do meu estágio de docência na Disciplina de Prótese Fixa Convencional e Sobre Implantes. Vocês contribuíram muito com minha formação profissional!

Aos **alunos de graduação da turma 84**, pela convivência, confiança e receptividade durante o meu estágio de docência na Disciplina de Materiais Aplicados à Prótese.

À aluna de iniciação científica **Samira**, pelo convívio, amizade, respeito e confiança. Espero que você continue nesse caminho da vida acadêmica!

Aos **Professores Drs. José Cláudio Martins Segalla e Ivan Ribeiro de Faria**, pela amizade, convivência agradável e pela oportunidade concedida de acompanhamento de alguns módulos da Disciplina de Prótese Parcial Fixa do Curso de Especialização em Prótese Dentária da FAEPO, o que muito me incentivou e contribuiu para o meu aprendizado clínico e docente. Muito obrigado!

Aos **alunos do Curso de Especialização em Prótese Dentária da FAEPO** que sempre me receberam com muito respeito e confiança.

À **Sílvia**, funcionária da FAEPO, por toda a amizade compartilhada durante esses anos. Muito obrigado por sempre me apoiar, incentivar e torcer pela minha felicidade. Você é especial. Agradeço do fundo do coração!

À amiga **Profa. Dra. Juliana Gomes dos Santos Paes de Almeida** e ao **Prof. Dr. Carlos Gramani Guedes**, pela oportunidade de trabalharmos juntos.

Aos **funcionários da Biblioteca e da seção de Pós-Graduação**, pela amizade, receptividade, orientação, eficiência e disponibilidade com que sempre me atenderam. Vocês são fundamentais!

A **todos os demais professores e funcionários** da Faculdade de Odontologia de Araraquara, pela amizade, atenção, acolhimento e contribuição para minha formação profissional e moral.

A todos os **pacientes** que atendi durante a graduação ou Mestrado, pela confiança depositada em mim. Vocês foram essenciais para o meu aprendizado inicial e aperfeiçoamento profissional.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)** pelo auxílio financeiro concedido durante todo o curso.

À **PROAP** pela concessão de materiais para o desenvolvimento experimental deste trabalho.

A **todos aqueles** que de alguma forma colaboraram com a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

“Não faça pequenos planos; eles não têm magia para agitar o sangue dos homens. Faça grandes planos, mire alto com confiança e trabalhe.”

Daniel Burnham

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	17
RESUMO.....	19
ABSTRACT.....	22
1 INTRODUÇÃO.....	25
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	31
3 PROPOSIÇÃO.....	82
4 MATERIAL E MÉTODO.....	84
5 RESULTADO.....	96
6 DISCUSSÃO.....	103
7 CONCLUSÃO.....	112
8 REFERÊNCIAS.....	114
APÊNDICE.....	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Ti cp	Titânio comercialmente puro
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio
RC	Resistência ao cisalhamento
µm	Micrometros
°C	Graus Celsius
EDS	Energy-dispersive X-ray spectroscopy
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy
LIBS	Laser-induced breakdown spectroscopy
Monômeros	MDP – 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate
	MAC-10 – 11-methacryloyloxundecan 1,1-dicarboxylic acid
	4-META – 4-methacryloxyethyl trimellitate anhydride
	4-AET – 4-acryloxyethyl trimellitic acid
	VBATDT – 6-(4-vinylbenzyl-n-propyl) amino-1,3,5-triazine-2,4 dithiol
	MTU-6 – 6-methacryloyloxyhexyl 2-thiouracil-5-carboxylate
	MEPS – thiophosphate methacryloyloxyalkyl

Resumo

Abi Rached FO. Efeito de tratamentos de superfície do titânio comercialmente puro na resistência de união com cimentos ionomérico e resinosos [Dissertação de Mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2011.

RESUMO

O titânio, em virtude de suas atrativas propriedades, foi introduzido na área de reabilitação oral podendo ser indicado para a confecção de restaurações metalocerâmicas dento- ou implanto-suportadas. No entanto, apresenta dificuldade de união com materiais resinosos, o que poderia comprometer a longevidade dessas restaurações, considerando a importância da qualidade de união na interface metal/cimento. Para contornar este problema, pode-se lançar mão de tratamentos de superfície do titânio, empregados isoladamente ou em associação. Este estudo avaliou a eficácia de diferentes tratamentos de superfície na resistência ao cisalhamento (RC) da união do cimento ionomérico modificado por resina RelyX Luting 2 e dos cimentos resinosos RelyX ARC e RelyX U100 ao titânio comercialmente puro (Ti cp). Duzentos e quarenta discos (9 x 3 mm) foram fundidos em Ti cp, incluídos em tubos de PVC e regularizados com lixas de carvão de silício (150, 400 e 600) em politriz. Os espécimes foram divididos aleatoriamente em oito grupos (n=30), os quais receberam um dos seguintes tratamentos de superfície: (1) Al₂O₃ 50 µm; (2) Al₂O₃ 120 µm; (3) Al₂O₃ 250 µm; (4) Al₂O₃ 50 µm + silano; (5) Al₂O₃ 120 µm + silano; (6) Al₂O₃ 250 µm + silano; (7) Cojet Sand (30 µm) + silano; (8) Al₂O₃ 120 µm + Rocatec (110 µm) + silano. Os cimentos (1) RelyX Luting 2; (2) RelyX ARC; (3) RelyX U100 foram aplicados às superfícies tratadas do Ti cp (n=10). Os espécimes foram

termociclados (5.000 ciclos, 5 e 55 °C, 30 segundos de imersão) e, então, submetidos ao ensaio de cisalhamento (0,5 mm/min). O modo de fratura foi avaliado em estereomicroscópio (x20). Os dados foram analisados por ANOVA 2 fatores e teste de Tukey ($\alpha=0,05$). Os cimentos RelyX Luting 2 e RelyX U100 apresentaram comportamento semelhante com relação ao tratamento de superfície. Em ambos, somente o grupo jateado com partículas de Al_2O_3 de 50 μm promoveu menor RC quando comparado aos demais grupos ($P>0,05$). No RelyX ARC, independentemente da aplicação do silano, o jateamento com partículas de Al_2O_3 de 50 μm promoveu RC significativamente menor em comparação às partículas de 120 e 250 μm , as quais apresentaram igualdade estatística entre si ($P>0,05$). O jateamento com Rocatec seguido da aplicação de silano foi o melhor tratamento de superfície para o RelyX ARC. O RelyX U100 apresentou os maiores valores de RC ($P<0,001$). Todos os grupos apresentaram predominância de falha adesiva. Nos cimentos RelyX Luting 2 e RelyX U100, a capacidade adesiva foi o fator decisivo na determinação da RC, enquanto no RelyX ARC, tanto a condição mecânica quanto a química influenciaram a RC.

Palavras-chave: Resistência ao cisalhamento, cimentos dentários, titânio.

Abstract

Abi Rached FO. Effect of commercially pure titanium surface treatments on the shear bond strength to glass ionomer and resin cements [Dissertação de Mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2011.

ABSTRACT

Titanium was introduced in the field of oral rehabilitation because of its attractive properties, as it can be indicated for fabricating tooth- or implant-supported metal ceramic restorations. However, difficulties have been shown to exist as regards the bond between resin-based materials and titanium, which could compromise the longevity of these restorations, considering the importance of the bond quality at the metal/cement interface. To overcome this problem, titanium surface treatments can be applied alone or they can be combined with each other. This study evaluated the efficacy of different surface treatments on the shear bond strength (SBS) of RelyX Luting 2 resin-modified glass ionomer cement, RelyX ARC and RelyX U100 resin cements to commercially pure titanium (CP Ti). Two hundred and forty discs (9 x 3 mm) were cast from CP Ti, embedded in PVC tubes and smoothed with silicon carbide papers (150, 400 and 600) using a polisher. Specimens were randomly divided into 8 groups (n=30), which received one of the following surface treatments: (1) 50 μm Al_2O_3 ; (2) 120 μm Al_2O_3 ; (3) 250 μm Al_2O_3 ; (4) 50 μm Al_2O_3 + silane; (5) 120 μm Al_2O_3 + silane; (6) 250 μm Al_2O_3 + silane; (7) Cojet Sand (30 μm) + silane; (8) 120 μm Al_2O_3 + Rocatec (110 μm) + silane. The luting cements (1) RelyX Luting 2; (2) RelyX ARC; (3) RelyX U100 were applied to the treated CP Ti surfaces (n=10). Specimens were thermal cycled (5,000 cycles, 5 and 55 °C, 30-second dwell time), and afterwards

submitted to SBS testing (0.5 mm/min). Failure mode was evaluated under a stereomicroscope (x20). Data were analyzed using 2-way ANOVA and Tukey's test ($\alpha=0.05$). The RelyX Luting 2 and RelyX U100 luting cements exhibited similar behavior regards to the surface treatment. For both, only the group abraded with 50 μm Al_2O_3 particles promoted lower SBS than the other groups ($P>.05$). For RelyX ARC, irrespective of silane application, abrasion with 50 μm Al_2O_3 particles provided significantly lower SBS than 120 and 250 μm particles, which exhibited similar SBS values to each other ($P>.05$). The abrasion with Rocatec followed by silane application was the best treatment for RelyX ARC. RelyX U100 exhibited the highest SBS mean values ($P<.001$). All groups showed predominance of adhesive failure. All groups showed predominantly adhesive failure. For RelyX Luting 2 and RelyX U100, the adhesive capability was decisive on determining of SBS, while for RelyX ARC, both mechanical and chemical factors influenced SBS.

Keywords: Shear strength, dental cements, titanium.

Introdução

1 INTRODUÇÃO

Devido às suas atrativas propriedades, tais como biocompatibilidade, elevada resistência à corrosão, baixa densidade e favorável relação resistência/massa^{18,41}, o titânio foi introduzido na área de reabilitação oral. Dentre algumas de suas indicações, pode-se citar a confecção de restaurações metalocerâmicas dento- ou implanto-suportadas. No entanto, em função da sua elevada reatividade química, a camada de óxidos superficial pode comprometer a união de materiais resinosos e cerâmicos ao titânio^{31,36,38}.

O sucesso das restaurações metalocerâmicas cimentadas está diretamente relacionado, dentre outros fatores, à resistência de união observada na interface cimento/restauração^{5,7,38}. Assim sendo, a utilização de cimentos com propriedades e composições melhoradas associada a diferentes tratamentos de superfície do substrato metálico visam aprimorar essa união.

Dentre as diferentes categorias de cimentos que podem ser utilizados na cimentação de restaurações metalocerâmicas, os ionoméricos modificados por resina e resinosos têm se destacado. Esses cimentos apresentam propriedades mecânicas melhoradas em relação aos cimentos de fosfato de zinco e ionômero de vidro convencional^{30,32}.

Além disso, os cimentos ionoméricos modificados por resina possuem capacidade de adesão às estruturas dentais por meio de seus radicais livres de ácidos policarboxílicos^{6,24} e de liberação de flúor^{3,32}, reduzindo o risco de infiltração marginal e cárie secundária. Também são capazes de estabelecer união com o substrato metálico por meio de imbricação e, às vezes, por interações químicas, dependendo dos elementos presentes na superfície com a

qual o cimento entrará em contato⁷. Segundo Hibino et al.¹¹, a capacidade de união de um cimento ao substrato metálico depende, em grande parte, de sua resistência mecânica, havendo entre estes dois fatores uma relação diretamente proporcional.

No tocante ao mecanismo de união químico entre os cimentos ionoméricos e o titânio, não há informações suficientes na literatura que esclareçam esta questão. Assim, são necessárias pesquisas que investiguem a interação entre componentes desses cimentos e os elementos presentes na superfície dos metais tratada ou não.

Com relação aos cimentos resinosos, podem ser destacadas as seguintes propriedades: capacidade de alguns deles se unirem quimicamente a diferentes substratos^{6,32}, baixa solubilidade^{6,9,44} e elevada resistência mecânica^{3,26,35}.

Dependendo do mecanismo de interação com o substrato metálico, os cimentos resinosos podem ser classificados como *adesivos* (ex. Panavia F, Bistite II, C&B Metabond, Super Bond C&B), que possuem monômeros capazes de interagir quimicamente com os óxidos da superfície metálica^{7-8,31,36,39}, ou *não-adesivos* (ex. RelyX ARC, Enforce, Variolink II, entre outros), que apresentam apenas imbricação (relação mecânica) com a restauração^{4,27}.

Existe ainda, dentre os cimentos resinosos, outra denominação relacionada à interface dente/cimento, os *auto-adesivos* (ex. RelyX Unicem, RelyX U100, MonoCem e Maxcem Elite), que apresentam em sua composição monômeros metacrilatos modificados por grupamentos fosfatados de natureza

ácida^{1,7}, dispensando as etapas de condicionamento ácido e hidridização das estruturas dentárias, o que justifica sua denominação.

A união na interface metal/cimento deveria estar baseada em duplo mecanismo de união, ou seja, retenção (mecânico) e adesão (químico), garantindo, desta forma, sua efetividade^{8,10,25,27,40,42}. Tal condição pode ser mais facilmente alcançada pelos cimentos resinosos *adesivos*, que já estabelecem, pela sua composição, uma união química com o substrato, necessitando apenas da criação de microretenções na superfície da restauração. Diferentemente dos cimentos resinosos *adesivos*, quando do emprego dos cimentos ionoméricos modificados por resina e dos resinosos *não-adesivos*, devem ser criados ambos os mecanismos de união.

Sendo assim, uma alternativa viável para aproveitar as características positivas dos cimentos ionoméricos modificados por resina e resinosos *não-adesivos*, bem como obter uma união eficaz daqueles cimentos ao substrato, seria realizar tratamentos na superfície do metal que resultem tanto em retenção quanto em adesão na crítica interface metal/cimento.

Esses tratamentos podem ser classificados como: 1) promotores de retenção (união mecânica), dos quais fazem parte o jateamento com partículas de Al_2O_3 ^{4,15,16,28}, a asperização com ponta diamantada^{5,19} e o condicionamento com ácidos^{7,27,40}; 2) promotores de adesão (união química), como os *primers* para metal^{8,34,37,39} e os silanos^{17,19-22} e, finalmente 3) promotores tanto de retenção quanto de adesão, como a silicatização pelo mecanismo triboquímico, baseado no jateamento (sistemas Cojet Sand e Rocatec – ambos da 3M ESPE)^{2,4,27} ou pelo mecanismo piroquímico, utilizando-se equipamentos

específicos^{10,12,16,25,27}, além da eletrodeposição de estanho, sendo este último tratamento mais indicado em ligas nobres^{4,12,19,27}.

Os sistemas Cojet Sand e Rocatec são constituídos por partículas de Al_2O_3 modificadas por sílica, de respectivamente 30 μm e 110 μm e são empregados por meio de jateamento convencional. O Cojet Sand é indicado para uso em consultório e não requer pré-tratamento da superfície. Em contrapartida, o fabricante do sistema Rocatec preconiza o pré-tratamento com partículas de Al_2O_3 de 110 μm convencionais, sendo indicado para uso em laboratório. Porém, não há motivos que contra-indiquem sua utilização em consultório².

Esses sistemas baseiam-se na silicização de superfície por meio do mecanismo triboquímico. Durante o jateamento, essas partículas são lançadas sob pressão contra um determinado substrato, gerando um aumento da temperatura local, devido à transformação da energia cinética em energia térmica^{10,19,27,43}. O resultado é a deposição de uma camada de sílica superficial, além de retenções micromecânicas. Na sequência, o silano deve ser utilizado como agente de união, promovendo uma interação química entre o substrato tratado e o cimento em cuja composição apresenta componentes resinosos. A porção silicofuncional dos silanos se une quimicamente à sílica da superfície, enquanto a porção organofuncional irá reagir com os monômeros dos cimentos com componentes resinosos^{4,17,19,20}.

Os diversos tratamentos de superfície citados anteriormente podem ser empregados isoladamente ou associados entre si^{2,5,7,8,29,36}. Assim, os protocolos para cimentação de restaurações metalocerâmicas com cimentos ionoméricos modificados por resina ou cimentos resinosos podem tanto

recomendar apenas o jateamento prévio da superfície metálica com partículas de Al_2O_3 (promotor de retenção), como também esse tratamento seguido da aplicação de silano, associando-se, desta forma, um promotor de retenção com um de adesão.

No entanto, como existem diferentes possibilidades de tratamentos, incluindo sistemas mais recentes (Cojet Sand e Rocatec)^{2,4-5,43} ainda pouco pesquisados em associação a cimentos mais modernos, pode ser que determinadas combinações sejam mais eficazes e promissoras do que o próprio protocolo recomendado pelo fabricante do cimento a ser empregado.

Considerando os fatos apresentados, julgou-se importante avaliar a eficácia de diferentes tratamentos de superfície do titânio comercialmente puro na resistência de união com um cimento ionomérico modificado por resina e dois cimentos resinosos *não-adesivos*, com o objetivo de definir protocolos diferentes e muitas vezes mais eficazes do que aquele recomendado pelo fabricante para a cimentação de restaurações metalocerâmicas.

Revisão da Literatura

2 REVISÃO DA LITERATURA

McLean, Wilson²⁴ (1977) fizeram uma revisão da literatura sobre as fórmulas e propriedades dos cimentos de ionômero de vidro. Os autores consideram inicialmente características da reação química desses materiais, a qual está baseada na interação de prótons do ácido acrílico com as partículas do pó, liberando os íons Al^{3+} e Ca^{2+} pela degradação da rede aluminossilicato em um gel silícico hidratado. Esses íons iniciam ligações cruzadas com as longas cadeias de íons policarboxilatos, resultando na transformação da fase aquosa para a gel e na presa do cimento. Os autores ressaltam também os diferentes cimentos ionoméricos, sendo que a formulação básica seria: vidro de cálcio alumino silicato (pó) e ácido (poli) acrílico (líquido). A microestrutura dos cimentos de ionômero de vidro assemelha-se a de um material compósito, no entanto há características incomuns. A matriz é um polissilicato e as partículas de carga são distinguíveis pela presença de núcleos vítreos em meio a um hidrogel silícico saturado de cátions. Com relação à adesão, quando na forma de pasta fluída os cimentos de ionômero de vidro aderem a uma série de substratos, provavelmente porque neste estágio de reação muitos dos grupos carboxílicos estão disponíveis para a formação de pontes de hidrogênio, promovendo o molhamento do substrato, primeiro estágio para se obter adesão. Os autores comentam que a adesão parece resultar de atrações eletrostáticas com cátions que permanecem entre os óxidos superficiais carregados negativamente e os grupos carboxílicos do cimento.

Hansson, Moberg¹⁰ (1993) avaliaram 3 diferentes métodos (Silicoater original – Heraeus Kulzer, Silicoater MD – Heraeus Kulzer e Rocatec – ESPE) para aumentar a resistência de união entre cimentos resinosos e metal. Discos (6 mm de diâmetro e 2 mm de espessura) foram fundidos em 3 diferentes ligas áureas, liga de CoCr e titânio puro. Cada metal foi submetido à simulação do ciclo de aquecimento para aplicação da respectiva porcelana. Os espécimes submetidos ao tratamento com Silicoater original ou Silicoater MD foram previamente jateados com partículas de Al₂O₃ de 250 µm, enquanto os espécimes tratados com Rocatec foram submetidos ao jateamento com partículas de Al₂O₃ de 110 µm (Rocatec-Pre). Para a deposição de sílica pela técnica Silicoater original os espécimes foram limpos com Siliclean, deixados secar e atacados piroliticamente com a pulverização da substância Siliflame. Após o resfriamento, o Silicoup foi aplicado e secado por 5 min. Na técnica Silicoater MD, os espécimes foram lavados com Siliclean, deixados secar e uma fina camada de Sililink foi aplicada sobre a superfície e submetida à queima. Após remoção do forno e resfriamento, aplicou-se o Siliseal, secando-o por 5 min. Para o sistema Rocatec, os espécimes foram jateados com partículas de Al₂O₃ de 110 µm modificadas por sílica (Rocatec-Plus) e, na sequência, foi aplicado o Rocatec-Sil e secado por 5 min. Para avaliar o efeito do armazenamento após a deposição de sílica, alguns grupos foram imediatamente cimentados, enquanto outros tiveram suas superfícies seladas com pasta protetora e foram armazenados à temperatura ambiente (22 °C) por 7 dias. Para a cimentação, essa pasta protetora foi removida da superfície. Os espécimes foram cimentados em pares com os seguintes cimentos: 1) Comspan Opaque – Denstply; 2) Microfill Pontic – Heraeus Kulzer; 3) Nimetic Grip – ESPE; 4)

Panavia Ex – Kuraray; e, após 15 minutos armazenados em água a 37 °C por 2 dias. Apenas os espécimes de uma das ligas áureas estudadas, da liga de CoCr e de titânio que receberam jateamento com Rocatec e cimentação com o cimento Comspan Opaque foram submetidos a termociclagem (25 min em água fervendo e 5 min em água a 10 °C, 10 vezes). Foi realizado ensaio de cisalhamento. A morfologia da superfície foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura e sua composição pela análise de EDS. Houve uma tendência do jateamento com Al₂O₃ de 110 µm promover união mais forte que o jateamento com Al₂O₃ de 250 µm. A técnica Silicoater original e o Rocatec aumentaram a resistência de união em relação ao jateamento isolado com Al₂O₃. A técnica Silicoater original promoveu os maiores valores de resistência de união, enquanto a Silicoater MD os menores. A liga de CoCr e o titânio mostraram melhor resistência de união que as ligas áureas após a silicatização. O armazenamento com a proteção das superfícies não influenciou a resistência de união, diferentemente da termociclagem para os espécimes de liga de ouro. A análise de EDS mostrou distribuição de sílica sobre a superfície, enquanto a microscopia eletrônica de varredura mostrou que os cimentos resinosos foram capazes de preencher as irregularidades da superfície jateada ou silicatizada.

Os efeitos do jateamento e da deposição de sílica na perda de volume, morfologia e composição superficiais de ligas de AuAgCu, NiCr e CoCr, foram avaliados por Kern, Thompson¹⁵, em 1993. Discos foram fundidos, polidos com lixas até granulação 600 e jateados a uma distância de 10 mm, por 14 segundos, sob uma pressão de 0,25 MPa. A perda de volume foi avaliada nas seguintes condições de jateamento (n=30): 1) partículas de Al₂O₃ de 110 µm

(Rocatec Pre); 2) partículas de Al_2O_3 de 110 μm modificadas por sílica (Rocatec Plus) e 3) Rocatec Pre seguido do Rocatec Plus. Os espécimes foram limpos por 10 minutos em ultra-som com etilacetato e, então, secos com ar. Para investigar a morfologia e composição da superfície, foram utilizados os seguintes tratamentos (n=9): 1) polimento até lixa 600; 2) jateamento com Al_2O_3 + limpeza com jato de ar; 3) jateamento com Al_2O_3 e Al_2O_3 modificado por sílica + limpeza com jato de ar; 4) jateamento com Al_2O_3 e limpeza em ultra-som com etilacetato por 10 minutos; 5) jateamento com Al_2O_3 e Al_2O_3 modificado por sílica e limpeza em ultra-som; 6) jateamento com Al_2O_3 , limpeza em ultra-som, aplicação de solução contendo sílica (Sililink – Heraeus Kulzer) e queima da camada de sílica no Silicoater MD. Em todas as condições foram utilizadas partículas de 110 μm . A morfologia de superfície foi determinada por microscópio eletrônico de varredura e a composição superficial por EDS. Todas as condições de jateamento promoveram uma perda de volume significativamente maior na liga de AuAgCu do que nas ligas de NiCr e CoCr, nas quais o jateamento com Al_2O_3 e com Al_2O_3 modificado por sílica tiveram efeitos diferentes. A análise da morfologia e composição da superfície permitiu concluir que o jateamento com partículas de Al_2O_3 resultou em rugosidade micromecânica e incrustação das partículas na superfície, sendo que algumas soltas são removidas pela limpeza em ultra-som. O jateamento com partículas de Al_2O_3 modificadas por sílica resultou em deposição de pequenas partículas sobre a superfície rugosa. A técnica térmica de deposição de sílica apresentou aparência idêntica à das superfícies apenas jateadas. A análise por EDS mostrou aumento significativo do conteúdo de alumina após o jateamento com Al_2O_3 , enquanto com as partículas de Al_2O_3 modificadas por sílica, o conteúdo desse composto químico mostrou um

aumento significativo e o de alumina reduziu ligeiramente. Com exceção da liga de ouro que teve uma queda significativa do conteúdo de sílica, a limpeza em ultra-som não reduziu significativamente o conteúdo de alumina e sílica, sendo vantajosa por remover as partículas soltas que podem enfraquecer a interface de união. A deposição de sílica por meio do jateamento foi significativamente maior do que a promovida pelo procedimento térmico.

Lautenschlager, Monaghan¹⁸ (1993) afirmaram que a aplicabilidade do titânio em diversas especialidades odontológicas, como implantes e próteses, deve-se a algumas de suas atrativas propriedades, tais como: baixa densidade, alta relação resistência/massa, baixo módulo de elasticidade, elevada resistência à corrosão e biocompatibilidade. No entanto, os autores ressaltam a necessidade de desenvolvimento de revestimentos mais adequados e de cerâmicas de cobertura compatíveis com esse metal em relação à expansão térmica.

Kern, Thompson¹⁶ (1994) avaliaram os efeitos do jateamento e técnicas de deposição de sílica na perda de volume, morfologia de superfície e mudanças de composição no titânio puro. Cilindros de titânio grau 4 com diâmetro de 6 mm foram cortados em discos de 3,4 mm de espessura, os quais foram polidos com lixas até granulação 600 e jateados a uma distância de 10 mm, por 14 segundos, sob uma pressão de 0,25 MPa. Para a avaliação da perda volumétrica as seguintes condições de jateamento foram utilizadas (n=10): 1) jateamento com partículas de Al_2O_3 de 110 μm (Rocatec Pre); 2) jateamento com partículas de Al_2O_3 de 110 μm modificadas por sílica (Rocatec Plus) e 3)

jateamento com Rocatec Plus nos espécimes previamente jateados com Rocatec Pre. Após o jateamento os espécimes foram limpos por 10 minutos em ultra-som com etilacetato e, então, secos com ar. Para determinar a morfologia de superfície e composição, as seguintes condições foram utilizadas (n=10): 1) polimento até lixa 600; 2) jateamento com partículas de Al_2O_3 de 110 μm (Rocatec Pre); 3) jateamento com Rocatec Pre e com partículas de Al_2O_3 de 110 μm modificadas por sílica (Rocatec Plus); 4) jateamento com Rocatec Pre e limpeza em ultra-som com etilacetato por 10 minutos; 5) jateamento com Rocatec Pre e Rocatec Plus e limpeza em ultra-som com etilacetato por 10 minutos; 6) jateamento com Rocatec Pre, limpeza em ultra-som com etilacetato por 10 minutos, aplicação de solução contendo sílica (Sililink – Heraeus Kulzer) e queima da camada de sílica na unidade do Silicoater MD. Nas condições 2 e 3, a limpeza da superfície foi realizada com leves jatos de ar. A morfologia de superfície foi examinada por microscópio eletrônico de varredura e a composição superficial foi determinada por EDS. A perda de volume após o jateamento com Al_2O_3 de 110 μm nos espécimes polidos foi estatisticamente igual à perda de volume após o jateamento com Al_2O_3 de 110 μm modificado por sílica nos espécimes previamente jateados. Entretanto, foi significativamente reduzida quando os espécimes polidos foram diretamente jateados com Al_2O_3 de 110 μm modificado por sílica. Essa diferença estatística e a quantidade em dobro de liga jateada quando empregado o mecanismo triboquímico não parecem ser críticas para a adaptação clínica de restaurações em titânio. A análise da morfologia e composição da superfície de titânio permitiu concluir que o jateamento da superfície com partículas de Al_2O_3 de 110 μm resultou em rugosidade micromecânica e incrustação dessas partículas na superfície, sendo que

algumas menores soltas são removidas pela limpeza em ultra-som. O jateamento com partículas de Al_2O_3 de 110 μm modificadas por sílica resultou em deposição de pequenas partículas sobre a superfície rugosa, as quais foram visualmente reduzidas pela limpeza ultrasônica. A deposição térmica de sílica não resultou em uma camada visível; a aparência foi idêntica às superfícies apenas jateadas. A análise por EDS da superfície polida mostrou principalmente titânio. Em contrapartida, a utilização do Al_2O_3 de 110 μm aumentou significativamente o conteúdo de alumina se comparado aos espécimes polidos e quando empregadas as partículas de Al_2O_3 de 110 μm modificadas por sílica, o conteúdo desse composto químico foi significativamente aumentado, enquanto o de alumina e titânio reduzido. A limpeza ultrasônica em etilacetato não reduziu significativamente o conteúdo de alumina e sílica favorecido pelas duas condições de jateamento descritas acima, sendo indicada para remover as partículas soltas que podem afetar a resistência e durabilidade da união. A deposição térmica de sílica aumentou significativamente o seu conteúdo quando comparado ao titânio apenas jateado, porém foi dez vezes menor que o conteúdo de sílica dos espécimes em que foi utilizado o mecanismo triboquímico.

Mukai et al.²⁵ (1995) investigaram o efeito do jateamento com partículas de Al_2O_3 previamente a deposição de sílica pelo sistema Silicoater (Kulzer) na resistência de união entre compósito resinoso/liga metálica. Duzentos discos (20 x 10 x 1,5 mm) foram fundidos em liga de AgPd e NiCr, os quais foram jateados com partículas de Al_2O_3 de 37 μm ou 250 μm sob as seguintes condições de pressão e tempo: 1) 3 kg/cm^2 – 30 segundos; 2) 5

kg/cm² – 10 segundos; 3) 5 kg/cm² – 30 segundos; 4) 5 kg/cm² – 45 segundos; 5) 7 kg/cm² – 30 segundos. As superfícies das ligas foram observadas por meio de microscopia eletrônica de varredura e o molhamento superficial foi mensurado. Os espécimes foram limpos com etilacetato (Siliclean – Kulzer) e revestidos com sílica por meio de aquecimento por chama (Silicoater – Kulzer). Após o resfriamento, foi aplicado nas superfícies o silano Silicoup (Kulzer) e uma fina camada de compósito resinoso (opaco Dentacolor – Kulzer), o qual foi fotopolimerizado por 90 segundos. Na sequência, foi aplicada a resina de cobertura Dentacolor D-120 (Kulzer) por meio de um anel plástico (2 mm de espessura e 6 mm de diâmetro), também fotopolimerizada por 90 segundos. Metade dos espécimes foi armazenada a seco por 7 dias e a outra metade termociclada (10.000 ciclos – 4 e 60 °C) e, então, foi realizado o ensaio de cisalhamento. A análise de superfície permitiu observar que o jateamento com Al₂O₃ de 250 µm promoveu uma deformação superficial maior que as partículas de 37 µm. O ângulo de contato foi reduzido para ambas as ligas após o jateamento, aumentando o molhamento superficial e sendo mais evidente com as partículas de maior tamanho (250 µm). A resistência de união melhorou notavelmente após o jateamento, que aumentou a energia de superfície favorecendo a união. A liga de AgPd apresentou diferenças significantes no tamanho de partícula (as de 250 µm apresentaram menor resistência que as de 37 µm após a termociclagem) e no tempo e pressão de jateamento, fatores para os quais a diferença foi significativa quando utilizada a liga de NiCr. Em todas as condições a termociclagem reduziu a resistência de união.

Imbery, Eshelman¹² (1996) realizaram um histórico da evolução dos diferentes mecanismos de união entre ligas metálicas e materiais resinosos, destacando os aspectos positivos e negativos de cada um deles, bem como suas indicações. Além disso, os autores comentam sobre as propriedades dos cimentos resinosos. Com base na literatura e considerando todos os métodos de união e ligas metálicas disponíveis, algumas associações apresentaram resultados mais promissores que outras, tais como jateamento ou deposição de sílica para as ligas não nobres e eletrodeposição de estanho, para as ligas nobres, empregando-se na sequência, cimentos resinosos adesivos que possuem monômeros capazes de interagir quimicamente com as superfícies metálicas tratadas, tais como MDP e 4-META, encontrados, respectivamente, nos cimentos Panavia e C&B Metabond. Entretanto, os autores ressaltam a falta de padronização das metodologias, implicando em uma comparação cuidadosa dos resultados.

Wang, Fenton⁴¹ (1996) publicaram uma revisão da literatura sobre o desenvolvimento, as propriedades do titânio e seu uso na área odontológica. Os autores destacam que a crescente aplicação do titânio nessa área deve-se a sua excelente biocompatibilidade, resistência à corrosão e propriedades físicas e mecânicas adequadas. O titânio possui menor densidade ($4,5 \text{ g/cm}^3$) que as ligas de ouro, NiCr e CoCr, além de favorável relação resistência/massa, elevada ductilidade e baixa condutividade térmica, características que permitem alterações no desenho das estruturas das próteses, tornando-as mais confortáveis e funcionais. O baixo custo e adequada dureza também favorecem sua aplicabilidade na confecção de próteses dentárias. No entanto, ainda é

necessário sanar problemas inerentes ao processo de fundição, como porosidade, bem como entender a interação desse metal com revestimentos, sua adesão com a cerâmica e dominar o processo de soldagem.

Ozcan et al.²⁷ (1998) fizeram uma revisão da literatura com o objetivo de descrever os métodos de condicionamento da superfície metálica utilizados para aprimorar sua união com materiais resinosos. Dentre os tratamentos promotores de retenção mecânica foram destacados: 1) retenção macromecânica, que consiste de perfurações na estrutura metálica, propiciando o embricamento do cimento ou pérolas fundidas na superfície interna da estrutura metálica; 2) retenção micromecânica, promovida por meio do jateamento com partículas de Al_2O_3 , que remove a camada de óxidos, cria rugosidades e aumenta a área de união da superfície metálica; 3) ataque eletrolítico, utilizado para criar irregularidades na superfície de ligas não-nobres, aumentando consequentemente a resistência de união, porém é uma técnica sensível, demorada e de alto custo; 4) eletrodeposição de estanho, que consiste na deposição de fina camada de óxido de estanho após jateamento da superfície, formando-se cristais na superfície, particularmente indicada para ligas nobres e 5) condicionamento com ácidos, que utiliza géis ácidos que promovem um padrão de condicionamento de menor profundidade que o apresentado pelo ataque eletrolítico. Com relação aos promotores de união química, os autores destacam os métodos de deposição de sílica (silicatização) que empregam calor, tais como: 1) Silicoater Classical (Heraeus Kulzer), que consiste na queima da camada de SiO_x por meio de uma chama na superfície metálica previamente jateada com Al_2O_3 de 250 μm ; 2) Silicoater MD (Heraeus Kulzer), no qual a

superfície metálica também jateada com partículas de Al_2O_3 de 250 μm é revestida por um líquido com SiOx e é queimada em forno especial a alta temperatura; 3) Siloc (Heraeus Kulzer), tratamento em que um *primer* com SiOx (Siloc-Pre) é aplicado sobre a superfície jateada com Al_2O_3 de 250 μm e aquecido em dispositivo próprio do sistema, sendo na sequência utilizado o silano Siloc-Bond; 4) Rocatec (ESPE), baseado no método triboquímico de deposição da camada de sílica por meio do jateamento com Al_2O_3 de 110 μm (Rocatec-Pre) e, na sequência, com Al_2O_3 de 110 μm modificado por sílica (Rocatec-Plus). O aquecimento produzido pelo choque das partículas contra a superfície metálica por meio da pressão do jateamento resulta na incrustação das partículas revestidas de sílica nessa superfície, tornando-a quimicamente mais favorável a união com o material resinoso por meio do silano aplicado na sequência; 5) união química, promovida por meio de cimentos resinosos denominados adesivos, tais como Panavia Ex e Panavia 21, capazes de se unirem quimicamente às superfícies metálicas, apresentando resultados altamente satisfatórios. Os autores concluíram com base nos trabalhos revisados que a promoção de união química por meio da silicatização promove melhores resultados que os tratamentos promotores de retenção mecânica.

Rosenstiel et al.³² (1998) fizeram uma revisão da literatura com relação às diversas propriedades das diferentes categorias de cimentos utilizados na cimentação de próteses parciais fixas. Os autores afirmaram que o grau de conversão dos monômeros orgânicos dos cimentos resinosos durante a polimerização está diretamente relacionado à biocompatibilidade desses agentes cimentantes e, portanto, a sensibilidade pós-operatória relatada pelos pacientes

quando esse material é utilizado, pode ser explicada pela sua incompleta polimerização. Os autores ainda destacam a maior capacidade retentiva dos cimentos resinosos adesivos, que possuem monômeros funcionais, na cimentação de infra-estruturas metálicas em relação aos cimentos resinosos não adesivos, cimentos de ionômero de vidro e de fosfato de zinco. Também discutem a contração de polimerização dos cimentos resinosos, considerando-a uma deficiência séria, principalmente quando o estresse gerado sobrepõe-se à resistência adesiva ou coesiva do agente de cimentação, resultando em uma força na interface cimento/metálico.

Taira et al.³⁷ (1998) avaliaram a eficácia de *primers* para metal na resistência de união entre titânio cp e cimentos resinosos. Discos de titânio cp foram cimentados em pares utilizando-se doze combinações diferentes entre os *primers* Cesead Opaque Primer (MDP) (Kuraray), Metal Primer (MEPS) (GC) e Metal Primer II (MEPS) (GC) e os cimentos resinosos Super Bond C&B (4-META) (Sun Medical), Imperva Dual (4-AET) (Shofu), Bistite Resin Cement (MAC-10) (Tokuyama) e Panavia 21 (MDP) (Kuraray). Foram confeccionados quatro grupos controle. Os espécimes foram armazenados em água destilada a 37 °C por 24 horas ou termociclados (100.000 ciclos, 4 e 60 °C e imersão por 1 minuto) previamente ao ensaio de cisalhamento. A termociclagem, os *primers*, os cimentos e as combinações influenciaram a resistência de união. Os grupos não termociclados foram estatisticamente iguais entre si. Após a termociclagem, as maiores resistências de união foram apresentadas pelas combinações dos *primers* Cesead Opaque Primer e Metal Primer II com os cimentos Imperva Dual, Panavia 21 e Super Bond C&B. Os autores concluíram que os *primers* derivados

do ácido fosfórico (MDP) e do ácido tiosfosfórico (MEPS) foram efetivos na união dos cimentos resinosos ao titânio, provavelmente pela interação química entre os monômeros adesivos e a fina camada de óxidos da superfície metálica.

Taira et al.³⁸ (1998) avaliaram a influência da oxidação por aquecimento, bem como um método de união para tratar a superfície do titânio. Discos de titânio cp (10 mm de diâmetro e 2 mm de espessura) foram obtidos por fundição e usinagem. Os espécimes usinados foram polidos com lixa 600 e submetidos à oxidação em forno elétrico nas seguintes temperaturas: 400, 500, 600, 700 e 800 °C. Os discos fundidos receberam um dos seguintes tratamentos: 1) nenhum; 2) polimento abrasivo com lixa 600; 3) jateamento com partículas de Al_2O_3 de 50 μm após polimento abrasivo. Também foram confeccionados espécimes usinados para as condições 2 e 3. O jateamento foi realizado por 10 segundos, sob pressão de 0,5 MPa e a 5 mm da superfície. As superfícies foram tratadas com Cesead Opaque Primer (MDP) e hastes de resina acrílica (6 mm de diâmetro e 5 mm de espessura) foram cimentadas com um cimento resinoso a base de metil metacrilato e tri-n-butilborano (MMA-TBB). Decorridos 30 minutos, os espécimes foram armazenados em água a 37 °C por 24 h ou termociclados (5.000 ciclos – 4 e 60 °C – imersão por 1 min) e, então, submetidos ao ensaio de cisalhamento. Para cada condição estudada, 5 espécimes foram confeccionados. O modo de fratura foi determinado por meio de microscópio óptico. Os espécimes usinados submetidos à oxidação não apresentaram diferenças significantes previamente a termociclagem, que reduziu a resistência de união. Após a termociclagem, alguns grupos apresentaram aumento de falha adesiva ao invés de 100% mista. Para os espécimes fundidos,

tanto o polimento abrasivo como o jateamento aumentaram significativamente a resistência de união. Após a termociclagem, o jateamento com partículas de Al_2O_3 apresentou a maior resistência de união dentre os espécimes fundidos. A condição de polimento abrasivo nesses espécimes mostrou resistência significativamente menor em relação aos usinados, após a termociclagem. As maiores resistências de união, após a termociclagem, foram observadas para os espécimes fundidos e usinados submetidos ao jateamento e usinados que receberam polimento abrasivo. A maioria dos espécimes apresentou falha mista posteriormente a termociclagem, com exceção do grupo sem tratamento, que apresentou falha adesiva. Os autores sugerem que o excesso da camada de óxidos formada pela oxidação durante o processo de fundição ou induzida por aquecimento pode interferir na reatividade do titânio com os promotores de adesão comprometendo sua união com materiais resinosos. O jateamento remove essa camada de óxidos, deixando a superfície do titânio coberta por uma reduzida e estável película de óxidos, essencial para uma união resistente.

Yoshida et al.⁴⁴ (1998) compararam a solubilidade de três cimentos resinosos (All-Bond C&B – Bisco, Panavia 21 – Kuraray e Super-Bond C&B – Sun-Medical) com três cimentos convencionais [cimento de fosfato de zinco – Elite Cement 100 (GC); cimento de poliacrilato de zinco – HY-Bond Carbo-plus Cement (Shofu) e cimento de ionômero de vidro – Fuji I (GC)]. Foram confeccionados discos de 15 mm de diâmetro e 0,6 mm de espessura. Os espécimes foram armazenados por 24 horas em ambiente a 37 °C com 100% de umidade relativa e, posteriormente, imersos por 30 dias em 50 ml de uma das seguintes soluções: 1) água destilada (pH 5,7) e 2) 0,001 mol/l de ácido láctico

(pH 4,0). A porcentagem de solubilidade dos cimentos foi obtida calculando-se a diferença entre as massas antes e após a imersão dos espécimes e multiplicando-a por 100. Os autores observaram que, independentemente da solução utilizada, os cimentos resinosos apresentaram-se menos solúveis que os cimentos convencionais, os quais, por sua vez, apresentaram a seguinte ordem decrescente de solubilidade: poliacrilato de zinco, fosfato de zinco e ionômero de vidro. Os autores concluíram que o uso de cimentos resinosos pode promover uma maior longevidade clínica às restaurações protéticas em relação aos cimentos convencionais.

Diaz-Arnold et al.⁶ (1999) publicaram um artigo de revisão da literatura sobre a composição e as propriedades das diferentes classes de cimentos (fosfato e poliacrilato de zinco, cimento de ionômero de vidro convencional e modificado por resina e cimento resinoso) utilizados na cimentação de restaurações indiretas. O cimento de fosfato de zinco, embora possa ser empregado em regiões de grande esforço mastigatório, devido a sua elevada resistência à compressão (80,0 a 110,0 MPa) e adequada resistência à tração (5,0 a 7,0 MPa), apresenta desvantagens como elevada solubilidade, baixo pH inicial e dependência da forma do preparo para promover retenção mecânica. Em contrapartida, o cimento de poliacrilato de zinco, apesar de se aderir quimicamente às estruturas dentais, ser biocompatível e possuir maior resistência à tração (8 a 12 MPa) que o fosfato de zinco, tem seu uso limitado a regiões de pouco esforço mastigatório, devido a sua menor resistência à compressão (55 a 85 MPa). Em relação aos cimentos anteriores, os ionoméricos apresentam maior resistência à compressão (90 a 230 MPa), adesão à estrutura

dental e menor infiltração marginal, porém têm como desvantagem, principalmente os ionômeros convencionais, a elevada solubilidade inicial quando em contato com umidade. Com relação aos cimentos resinosos são destacadas características como insolubilidade no meio oral, elevada resistência à compressão e à tração diametral e união às estruturas dentais por meio de sistemas adesivos (relação mecânica). Esses cimentos podem se unir quimicamente a restaurações de resina composta e à porcelana silanizada. Há também alguns capazes de promover adesão aos metais por meio de interações químicas entre seus componentes e esse substrato. Entretanto, a resistência ao desgaste, degradação hidrolítica e contração de polimerização dos cimentos resinosos são características indesejáveis e preocupantes. Sendo assim, os autores concluíram que não há um cimento ideal que possa ser empregado em todas as situações clínicas, portanto para o sucesso do procedimento de cimentação, as propriedades e características das diferentes categorias de cimento devem ser conhecidas.

Papadopoulos et al.²⁸ (1999) investigaram o efeito do jateamento na microestrutura e rugosidade de superfície do titânio comercialmente puro, estimando a influência desse procedimento na união metal-cerâmica. Barras de 25 × 3 × 0,5 mm foram fundidas em Ti cp grau 2 e jateadas com partículas de Al₂O₃ de três diferentes tamanhos: 50, 110 e 250 µm, sob uma pressão de 2 atm. Após o jateamento, os espécimes foram limpos com água por 5 minutos em ultra-som. Foi observado que as partículas de Al₂O₃ de 50 e 110 µm apresentaram distribuição de tamanho de partícula semelhante e limitada, com valor médio e variação de: 90 µm e 47-120 µm; 150 µm e 30-180 µm,

respectivamente. Contrariamente, as partículas de Al_2O_3 de 250 μm exibiram uma distribuição de tamanho de partícula ampla, com um valor médio em torno de 400 μm e uma variação de 10-500 μm . A análise por EDS após o jateamento mostrou que as partículas de Al_2O_3 ficaram incrustadas na superfície do Ti cp fundido. No entanto, com as partículas de tamanho pequeno e médio a porcentagem em peso de alumina na superfície do Ti cp foi de 34%, mesma contaminação superficial, enquanto com as partículas maiores (250 μm) foi de 31%, apresentando uma menor contaminação superficial. Essa menor quantidade de alumina superficial pode favorecer uma melhor união química entre titânio e porcelana, além de reduzir o número de defeitos na interface metal-cerâmica. A rugosidade superficial mostrou pequenas diferenças quando o jateamento foi realizado com as partículas de Al_2O_3 de tamanho pequeno ou médio (média de 0,86 e 0,87 μm , respectivamente), enquanto as partículas de 250 μm mostraram um aumento considerável na rugosidade (média de 2,24 μm), o que pode melhorar o embricamento mecânico com a porcelana, levando a uma retenção mecânica mais forte.

Watanabe et al.⁴² (1999) avaliaram se o jateamento em associação com a deposição de sílica melhorava a resistência de união de uma resina composta indireta ao titânio fundido. Discos (10 mm de diâmetro e 2,5 mm de espessura) foram fundidos em titânio comercialmente puro e liga de ouro, polidos com lixas até granulação 600 e submetidos a um dos seguintes tratamentos: 1) jateamento com Al_2O_3 de 50 μm ; 2) jateamento com Al_2O_3 de 250 μm e 3) polimento com lixa de granulação 600. O jateamento foi realizado perpendicularmente a superfície, a uma distância de 10 mm e pressão de 3 bar,

por 10 segundos. As superfícies foram limpas com jato de ar. Após o preparo das superfícies, aplicou-se o sistema Siloc (Heraeus Kulzer) e, na sequência, as camadas de opaco, dentina e esmalte da resina composta indireta Artglass (Heraeus Kulzer). O grupo controle foi constituído por espécimes jateados com Al_2O_3 de 50 μm sem a aplicação do sistema Siloc. Para cada condição experimental, 8 espécimes foram testados. Após cada tratamento, as superfícies metálicas foram observadas em microscópio eletrônico de varredura e a rugosidade superficial média de cada metal após os tratamentos de superfície foram também mensuradas para investigar uma correlação entre a resistência de união e a retenção mecânica. Os autores observaram que para ambos os metais, os espécimes jateados com Al_2O_3 de 50 μm e tratados com o sistema Siloc mostraram um aumento significativo na resistência de união quando comparados com aqueles apenas jateados com Al_2O_3 de 50 μm . No caso do titânio, o maior tamanho de partícula (250 μm) melhorou a resistência de união da resina Artglass, o que não ocorreu com a liga de ouro, sendo os valores de resistência de união estatisticamente iguais para ambos os tamanhos de partículas (50 e 250 μm). A liga de ouro apresentou maiores valores de rugosidade superficial em relação ao titânio, independentemente do tratamento de superfície, no entanto menores valores de resistência de união. A adesão química superou a retenção mecânica quando o sistema Siloc foi aplicado no titânio fundido para o grupo polido com lixa 600 (menor rugosidade/menor resistência) e o grupo apenas jateado com Al_2O_3 de 50 μm (maior rugosidade/menor resistência).

O efeito de quatro métodos de tratamento da superfície metálica e uso do silano na resistência de união entre resina composta e liga nobre foram avaliados por Cobb et al.⁵, em 2000. Cem discos (8 mm de diâmetro e 1 mm de espessura) foram fundidos em liga de PdAu, dos quais oitenta foram polidos com lixa de granulação 320 e submetidos a um dos seguintes tratamentos (n=20): 1) asperização por meio de ponta diamantada; 2) jateamento com partículas de Al₂O₃ de 50 µm por meio de Microetcher a 84 psi por 4 segundos; 3) jateamento com partículas de Al₂O₃ de 27 µm por meio de equipamento para preparo cavitário intraoral (KCP-2000) a 160 psi por 4 segundos; 4) jateamento com partículas de Al₂O₃ de 30 µm revestidas por sílica (Cojet Sand – ESPE) a 34 psi por 4 segundos. O jateamento foi realizado perpendicularmente e a uma distância de 5 mm da superfície. Metade dos espécimes de cada grupo (n=10) foi tratada com o silano Porcelain Primer (Bisco). Para o Cojet Sand, foi confeccionado um grupo adicional (n=10), no qual se utilizou o silano ESPE-Sil (3M ESPE). Todos os grupos receberam o adesivo All-Bond 2 (Bisco) e a resina composta microhíbrida Pertac (ESPE), aplicada por meio de uma matriz metálica dividida (4,3 mm de diâmetro e 2 mm de espessura), sendo ambos fotopolimerizados. Após 30 minutos, os espécimes foram armazenados em água destilada a 37 °C por 48 horas, termociclados (300 ciclos – 5 e 55 °C) e submetidos ao ensaio de cisalhamento. O modo de fratura foi determinado. Os dez discos remanescentes foram divididos em 5 grupos (n=2) e receberam os mesmos tratamentos de superfície descritos para os grupos de 1 a 4, sendo que 1 grupo permaneceu sem tratamento (controle). A morfologia de superfície desses espécimes e a composição de suas superfícies foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura e EDS, respectivamente. O silano Porcelain

Primer associado ao jateamento com Cojet Sand promoveu resistência de união significativamente maior que o silano ESPE-Sil, no entanto ambas as condições resultaram em resistências significativamente maiores em relação aos demais tratamentos de superfície. A utilização de ponta diamantada resultou na menor resistência de união. O tratamento apenas com Cojet Sand e ambas as condições de jateamento com Al_2O_3 associadas ou não ao silano apresentaram resistências de união intermediárias e estatisticamente iguais entre si. O silano promoveu maior resistência de união somente quando associado ao Cojet Sand. Todos os espécimes apresentaram falha adesiva. A microscopia de varredura revelou diferenças na morfologia de superfície entre os grupos. A asperização com ponta diamantada resultou em sulcos superficiais com padrão regular e linear. O jateamento com Al_2O_3 em ambas as condições foram comparáveis, exibindo irregularidades superficiais, as quais se apresentaram menores com o Cojet Sand. As superfícies jateadas com Al_2O_3 e Cojet Sand apresentaram um aumento na concentração de alumínio, no entanto a concentração de silício somente aumentou nas superfícies tratadas com Cojet Sand.

Matsumura et al.²³ (2001) avaliaram o efeito de 4 *primers* para metal (Alloy Primer, Infis Opaque Primer, Metal Primer II e Metaltite) e uma técnica de modificação superficial (Siloc) na resistência ao cisalhamento da união entre uma resina composta para faceta (New Metacolor Infis – Sun Medical Co) e uma liga de ouro (Pontor LFC – Metalor). Foram fundidos noventa e seis discos (10 mm de diâmetro e 2,5 mm de espessura), dos quais oitenta foram polidos com lixa de granulação 600 e jateados com óxido de alumínio de 50 μm por 10 segundos e divididos em 5 grupos (n=16), sendo um deles não

tratado com *primer* e utilizado como controle. Os demais discos foram jateados pelo mesmo tempo com óxido de alumínio de 125 µm para posteriormente serem tratados com o sistema Siloc. Os jateamentos foram realizados a uma pressão de 0,3 MPa e a uma distância de 20 mm da superfície. Após aplicação da resina, os espécimes foram armazenados em água a 37 °C por 24 horas e, destes, somente metade foi termociclada (20.000 ciclos – 4 e 60 °C). O ensaio de cisalhamento foi realizado nas condições sem e com termociclagem. Todos os grupos tratados com *primer* e Siloc e não termociclados mostraram melhores resistências de união quando comparados com o grupo controle, tendo o Siloc promovido a maior resistência de união. Após termociclagem, tanto os grupos tratados com Metaltite ou com Siloc exibiram as maiores resistências de união, representando assim, um método eficiente para aprimorar a união entre a liga de ouro e o material resinoso testados. A termociclagem prejudicou a resistência de união de todos os grupos.

A possível correlação entre a resistência mecânica de cimentos de ionômero de vidro e sua resistência adesiva aos metais foi avaliada por Hibino et al.¹¹, em 2002. Foram utilizados os seguintes cimentos de ionômero de vidro: 1) Fuji I (GC); 2) Hy-Bond Glasionomer CX (Shofu); 3) DNT ionomer (Dai Nippon Toryo), misturados em quatro diferentes proporções pó/líquido. Espécimes cilíndricos foram confeccionados para os ensaios de resistência à compressão e à tração diametral. Espécimes na forma de barras foram fundidos em metais nobres (AuAgCu e AgPdAu) e não nobres (NiCr e Ti cp). As superfícies foram polidas com lixa 600 e os cimentos de ionômero de vidro foram aplicados. Após a presa, os espécimes foram armazenados em água destilada a 37 °C e, então,

submetidos ao ensaio de cisalhamento. Os autores observaram um aumento das resistências à compressão e à tração diametral com o aumento da proporção pó/líquido. Esse mesmo comportamento foi observado para a resistência ao cisalhamento, a qual se mostrou semelhante, independentemente do metal utilizado. Tanto a resistência à compressão como a resistência à tração mostraram-se fortemente correlacionadas à resistência ao cisalhamento. A resistência ao cisalhamento da união entre os ionômeros de vidro e os metais não nobres foi maior do que com os metais nobres, sendo que estes últimos, diferentemente dos primeiros, apresentaram somente falha adesiva.

Attar et al.³ (2003) compararam a resistência flexural, módulo de elasticidade, radiopacidade e pH de diferentes classes de cimentos. Foram confeccionados espécimes com um dos seguintes cimentos: 1) Flecks – Keystone/Mizzy (fosfato de zinco); 2) Fuji I – GC (ionômero de vidro convencional); 3) RelyX Vitremer – 3M (ionômero de vidro modificado por resina); 4) Calibra – Dentsply-Caulk (cimento resinoso de polimerização dual – fotopolimerizado e não fotopolimerizado); 5) RelyX ARC – 3M (cimento resinoso de polimerização dual – fotopolimerizado e não fotopolimerizado); 6) Crown & Bridge – Bisco (cimento resinoso autopolimerizável). Foram confeccionados espécimes (n=8) na forma de barra (25 × 2 × 2 mm) para o ensaio de resistência à flexão de três pontos, realizado após armazenamento dos espécimes por 24h ou 3 meses. Os cimentos resinosos apresentaram maior resistência em relação aos cimentos de fosfato de zinco e ionoméricos, independentemente da condição de armazenamento. Os cimentos resinosos duais não fotopolimerizados apresentaram menor resistência do que os fotopolimerizados.

A resistência do cimento ionomérico modificado por resina foi superior a do cimento de fosfato de zinco e ionomérico convencional. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os tempos de armazenamento. Para a determinação do módulo de elasticidade, observou-se a relação carga-deformação gerada durante o teste de flexão. O cimento de fosfato de zinco e o ionomérico modificado por resina apresentaram, respectivamente, o maior e menor módulo de elasticidade em ambas as condições de armazenamento. A não fotopolimerização do cimento resinoso Calibra reduziu o seu módulo de elasticidade em relação a quando foi fotopolimerizado. Para o teste de radiopacidade, foram confeccionados quatro discos para cada cimento. Esses discos foram radiografados juntamente com esmalte e dentina humana para parâmetro de comparação. Foi observado que o cimento de fosfato de zinco foi o mais radiopaco (3 vezes mais que o esmalte humano), enquanto os cimentos resinosos duais e o ionomérico convencional apresentaram radiopacidade semelhante à do esmalte. Contrariamente, o cimento ionomérico modificado por resina mostrou radiopacidade intermediária entre o esmalte e a dentina e o cimento resinoso autopolimerizável apresentou a menor radiopacidade em relação aos demais cimentos, assemelhando-se à dentina. Finalmente, para a realização do teste de pH, utilizou-se um eletrodo ligado a um medidor de pH, em contato com o cimento nos tempos 0, 1, 5, 15, 30 minutos e 1, 2, 4, 6 e 24 horas. Os seguintes valores de pH inicial e após 24 horas foram observados, respectivamente: fosfato de zinco 2,2 e 6,8; cimento ionomérico convencional 1,5, e 6,4 e cimento ionomérico modificado por resina 3,6 e 5,7. Os cimentos resinosos foram os menos ácidos no início variando de 4,4 a 5,5 e entre 4,9 e 5,4 após 24 horas. Os autores concluíram que os cimentos resinosos duais

avaliados apresentaram características favoráveis como alta resistência flexural, elevada rigidez, adequada radiopacidade e baixo pH inicial.

Piwowarczyk, Lauer³⁰ (2003) avaliaram o efeito do armazenamento em água na resistência à flexão e compressão de diferentes cimentos e também a influência do método de polimerização nas propriedades mecânicas. Os materiais examinados foram: dois cimentos de fosfato de zinco (Harvard cement e Fleck's zinc cement); dois cimentos de ionômero de vidro (Fuji I e Ketac Cem); três cimentos de ionômero de vidro modificados por resina (Fuji Plus, Fuji Cem e RelyX Luting); quatro cimentos resinosos (RelyX ARC, Panavia F, Variolink II e Compolute) e um cimento resinoso auto-adesivo (RelyX Unicem). Os cimentos foram manipulados de acordo com as recomendações do fabricante. Para o ensaio de resistência à flexão, barras (25 x 2 x 2 mm) foram confeccionadas aplicando-se os cimentos em uma matriz de aço inoxidável sobre uma placa de vidro. Os cimentos foram aplicados com ligeiro excesso, sobre o qual foi colocada uma tira matriz transparente e, sobre o conjunto outra placa de vidro foi posicionada. A fotopolimerização dos cimentos de presa dual foi realizada. Para o ensaio de compressão, os espécimes foram preparados em uma matriz plástica rígida dividida e cilíndrica (6 mm de altura e 4 mm de diâmetro). Os espécimes foram armazenados em água destilada a 37 °C por 24 horas ou 150 dias e submetidos ao ensaio de flexão ou compressão. Para cada condição 10 espécimes foram testados. A influência do método de polimerização foi avaliada realizando-se a fotopolimerização dos cimentos de presa dual ou excluindo-a e permitindo apenas a polimerização química desses materiais. As resistências à flexão e compressão dos cimentos testados variaram amplamente.

Em geral, os maiores valores de ambas as resistências foram alcançados pelos cimentos resinosos, seguidos pelo cimento resinoso auto-adesivo. Na sequência, com valores significativamente menores apresentaram-se os cimentos de ionômero de vidro modificados por resina, os cimentos de ionômero de vidro e os cimentos de fosfato de zinco. Em geral, a fotopolimerização dos cimentos duais não pode melhorar significativamente as propriedades mecânicas após 150 dias de armazenamento em água.

Matinlinna et al.²² (2004) realizaram uma revisão da literatura sobre os aspectos químicos, propriedades e uso dos silanos, bem como sobre as principais experiências clínicas com esse agente de união. Os silanos são descritos como compostos orgânicos que contêm silício em sua composição, geralmente apresentando um caráter bifuncional. A sua porção organofuncional pode polimerizar com uma matriz orgânica, enquanto os grupos alcoxi hidrolisáveis podem reagir com um substrato inorgânico, formando ligações covalentes em ambas as interações. Para serem capazes de agir como agentes de união na interface entre substâncias orgânicas e inorgânicas, os silanos devem ser primeiramente hidrolisáveis (ativados), formando grupos silanol (Si-OH). Esses grupos silanol podem reagir com os grupos OH⁻ da superfície do metal, resultando na camada de siloxano. Os autores ressaltam o uso dos silanos na Odontologia, especificamente nas áreas de prótese dentária e dentística restauradora, pois uma alta resistência de união entre as fases dos materiais é essencial. O silano mais comumente utilizado para otimizar e promover adesão por meio de união química e física entre metal/compósito, cerâmica/compósito e compósito/compósito é o 3-

metacriloiloxipropiltrimetoxisilano (MPS). As interfaces silanizadas parecem ser instáveis em condições de umidade. A associação do silano a tratamentos de superfície prévios do metal e cerâmica, tais como: condicionamento com ácido, jateamento com partículas de Al_2O_3 e silicatização por meio dos sistemas Cojet Sand e Rocatec, pode favorecer resultados mais promissores. Os autores destacam a importância dos silanos na união de materiais resinosos à cerâmica e ao metal e concluem que a maioria dos resultados clínicos torna sua utilização favorável, no entanto os mecanismos de união dos silanos aos diversos substratos precisam ser melhor compreendidos. Assim, pesquisas futuras deveriam ser direcionadas na interação dos silanos aos vários materiais dentários não condicionáveis.

Petridis et al.²⁹ (2004) compararam o efeito de diferentes tratamentos de superfície de uma liga nobre de AuPdAgIn na resistência ao cisalhamento da união com uma resina composta indireta (Artglass – Heraeus Kulzer) e na composição de superfície da liga. Noventa discos fundidos foram polidos com lixas até granulação 600 e receberam três diferentes tratamentos de superfície: 1) jateamento com Al_2O_3 de 50 μm + Siloc; 2) jateamento com Al_2O_3 de 250 μm + Siloc e 3) jateamento com Al_2O_3 de 250 μm apenas. O jateamento foi realizado por 10 segundos, sob pressão de 0,34 MPa. O Siloc (Heraeus Kulzer) é um sistema de união constituído por duas etapas: 1) deposição de sílica por aquecimento de um *primer* aplicado sobre a superfície (Siloc-pre) e 2) aplicação de silano (Siloc-bond) como agente de união. Posteriormente ao preparo das superfícies, as camadas de opaco e dentina da resina Artglass foram aplicadas. Metade dos espécimes foi testada após 24 horas de

armazenamento a seco em temperatura ambiente e o restante após armazenamento em solução de NaCl 0,9% a 37 °C por 10 dias e termociclagem (2.500 ciclos – 5 e 55 °C –imersão por 20 segundos). Para avaliar a morfologia e composição da superfície da liga após o jateamento por meio de microscopia eletrônica de varredura e análise por EDS, nove discos adicionais foram preparados e submetidos a um dos três tratamentos: 1) polimento com lixa até granulação 600; 2) jateamento com Al₂O₃ de 50 µm e 3) jateamento com Al₂O₃ de 250 µm. As partículas de Al₂O₃ de 50 µm promoveram valores de resistência de união superiores àqueles das partículas de Al₂O₃ de 250 µm. A morfologia de superfície se apresentou mais rugosa quando realizado o jateamento com partículas de Al₂O₃ de 250 µm em comparação às de 50 µm e às superfícies polidas. O jateamento aumentou a concentração superficial de alumínio, sendo esta mudança maior para o grupo jateado com Al₂O₃ de 50 µm. A associação do sistema de união química foi mais eficaz do que o promotor de retenção micromecânica isolado. O armazenamento em água e a termociclagem prejudicaram a resistência de união em todos os grupos.

Larson¹⁷, em 2006, descreveu aspectos sobre a aplicação do silano e tratamentos de superfície nos procedimentos adesivos, com base na literatura. O autor mostra a aplicabilidade do silano como componente e no reparo de compósitos, no reparo e cimentação de restaurações de porcelana e pinos. O uso do silano melhora a tenacidade à fratura, resistência ao desgaste e à flexão, além da resistência de união das partículas de carga à matriz resinosa dos materiais compósitos, não se hidrolisando em água. A associação do silano e jateamento com Al₂O₃ ou deposição de sílica melhora a união no reparo de

compósitos, enquanto aplicação de um cimento resinoso entre o material antigo e o novo parece limitar a microinfiltração independentemente do material ter sido jateado ou asperizado com brocas. Quanto à cimentação de compósitos, os tratamentos de superfície com as mais altas resistências de união foram o jateamento e a silanização superficial, também benéficos para a cimentação e reparo de cerâmicas, além da asperização ou condicionamento com ácido fluorídrico associados ao silano. O seu uso no reparo de porcelana diminui a microinfiltração e aumenta a resistência de união, sendo esta durável, pois o silano não tende a hidrolisar. A união a pinos de titânio pode ser melhorada pelo jateamento com Al_2O_3 ou este associado ao jateamento com Cojet. O autor destaca o silano como um material útil aos procedimentos de adesão descritos acima, melhorando a resistência de união na interface adesiva.

Matinlinna et al.²⁰ (2006) avaliaram cinco marcas comerciais de silanos como promotores de adesão entre um agente de cimentação e superfícies de titânio revestidas por sílica. Ti cp grau 2, com 1 mm de espessura, foi cortado em 20 lâminas de 20 × 40 mm, as quais tiveram sua metade superior jateada com partículas de Al_2O_3 de 50 μm sob pressão de 300 kPa, por 10 segundos, perpendicular e a 10 mm da superfície. As lâminas foram limpas em ultra-som com etanol por 10 minutos previamente ao jateamento com partículas de Al_2O_3 de 110 μm modificadas por sílica (Rocatec Plus), realizado sob as mesmas condições anteriores, porém por 15 segundos. Os espécimes foram novamente limpos e receberam um dos seguintes silanos: 1) Bisco Porcelain Primer – Bisco; 2) Cimara – VOCO; 3) ESPE Sil – ESPE Dental; 4) Pulpdent Silane Bond Enhancer – Pulpdent; 5) RelyX Ceramic Primer – 3M ESPE. Na

sequência, o cimento resinoso RelyX ARC (3M ESPE) foi aplicado e fotopolimerizado sobre as superfícies tratadas. Do total de 10 grupos, 5 foram termociclados (6.000 ciclos – 5 e 55 °C – imersão por 30 segundos) e 5 mantidos a seco, para que então fosse realizado o ensaio de cisalhamento. Os valores de pH dos silanos foram mensurados por meio da aplicação de 2 gotas de cada um deles em tiras indicadoras de pH. Os autores observaram que as marcas de silanos e as condições de armazenamento diferiram significativamente. Nos grupos mantidos a seco, apenas o silano Pulpdent, que apresentou o menor valor de resistência, diferiu estatisticamente dos demais silanos. Nos grupos termociclados, os silanos Bisco Porcelain Primer e RelyX Ceramic Primer apresentaram a maior resistência, o Cimara e o ESPE Sil, resistência intermediária e o Pulpdent continuou com a menor. A termociclagem enfraqueceu a resistência de união obtida com os silanos Cimara e ESPE Sil. Pela análise de FTIR, o silano com a mais alta resistência de união (RelyX Ceramic Primer) e o segundo melhor (Bisco) aparentaram ter menos grupo silanol sem reagir. Além disso, o Pulpdent não apresentou sinal de grupo carbonil, que está associado ao grupo metacrilato da molécula de silano, o qual reage com a matriz do cimento, sugerindo que o silano Pulpdent não contém o 3-metacrilóiloxipropiltrimetoxisilano. Os autores verificaram que os silanos com pH mais baixo (4,0 e 4,5) parecem ser mais eficazes que aqueles com pH mais alto (5,5 e 6,0). Dessa forma, não são todos os silanos que podem ser usados na união de um cimento resinoso ao titânio revestido com sílica.

A resistência ao cisalhamento de diferentes sistemas de reparo, em metal e porcelana, comparando-os a um protocolo de menor custo, foi

avaliada por Santos et al.³³, em 2006. Cinquenta discos (9 mm de diâmetro e 3 mm de espessura) foram confeccionados em NiCr e cinquenta (7,8 mm de diâmetro e 2,7 mm de espessura) foram confeccionados em porcelana feldspática. Os discos foram incluídos em tubo de PVC com resina acrílica e regularizados com lixas de granulação 120, 220 e 320. Os espécimes de cada substrato foram divididos em 5 grupos (n = 10), de acordo com o sistema de reparo aplicado: 1) Clearfil SE Bond/Clearfil AP-X (CL); 2) Bistite II DC/Palfique (BT); 3) Cojet Sand System/Z 100 (CJ); 4) Scotchbond Multipurpose Plus/Z100 (SB), adotado como grupo controle e 5) Variação do grupo controle (CJSB), no qual foi realizado jateamento com Cojet Sand, como no grupo CJ, ao invés de óxido de alumínio de 50 µm como nos demais grupos. Os espécimes foram armazenados em água destilada a 37 °C por 24 horas, termociclados (1.000 ciclos – 5 e 55 °C – imersão por 30 segundos) e novamente armazenados nas condições descritas anteriormente por 8 dias. Foi realizado ensaio de cisalhamento e o modo de fratura foi determinado por meio de lupa estereoscópica. Para os espécimes em metal, o grupo CJ apresentou superioridade estatística em relação aos demais. Os grupos CL e SB foram estatisticamente iguais entre si, mas somente o grupo CL apresentou resultados significativamente maiores que o grupo CJSB. O grupo BT apresentou os menores valores de resistência. Para os espécimes em porcelana, não houve diferença significativa entre os grupos SB, CJ e BT, mas apenas o grupo SB apresentou resultados significativamente maiores que os grupos CL e CJSB. Os modos de fratura predominantes em metal foram: adesiva para os grupos BT, CJ, SB e CJSB e coesiva do material reparador para o grupo CL. Em porcelana, todos os grupos apresentaram predominância de falha coesiva da porcelana.

Tsuchimoto et al.³⁹ (2006) analisaram o efeito dos monômeros 4-META e 10-MDP, nas concentrações de 0,1, 1,0 e 10% em massa, na resistência à tração dos cimentos resinosos Super Bond C&B e Panavia F ao titânio comercialmente puro. Barras de titânio foram polidas com lixas de granulação 600, limpas em ultra-som com etanol por 5 minutos e, então, tratadas com uma das concentrações de cada um dos *primers* por 5 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, foram aplicados os cimentos resinosos. Como grupo controle, barras adicionais de titânio foram mantidas sem tratamento após o polimento com lixa e a limpeza em ultra-som. Os espécimes foram armazenados em água destilada a 37 °C por 24 horas e submetidos ao ensaio de tração. A associação do Panavia F com o MDP a 10% em massa resultou em resistência significativamente maior que as demais concentrações desse monômero e todas as concentrações do monômero 4-META. Para o cimento Super Bond C&B, os grupos tratados foram estatisticamente iguais ao grupo controle.

A eficácia de tratamentos de superfície que promovessem uma efetiva união na interface material resinoso/titânio foi investigada por Tsuchimoto et al.⁴⁰, em 2006. Barras (10 × 10 × 3 mm de espessura) de Ti cp foram polidas com lixa de granulação 600 e limpas em ultrasom com etanol por 5 min. Os espécimes foram imersos por 5 min em ácido clorídrico (0,1 e 1,0 N), ácido fosfórico a 37% ou permaneceram sem tratamento (grupo controle) e, em seguida, foram lavados com água destilada por 10 s e secos com ar por 5 s. Uma haste de aço inoxidável (7 mm de diâmetro e 20 mm de altura) foi cimentada na superfície dos espécimes com o cimento resinoso Panavia Fluoro

Cement (Kuraray). Após 15 min, os espécimes foram armazenados em água a 37 °C por 24 h ou termociclados (20.000 ciclos – 5 e 55 °C – imersão por 1 min) e, então, foi realizado o ensaio de tração. Foram testados 10 espécimes para cada grupo. O modo de falha, a rugosidade e a composição química foram avaliados. Os grupos não submetidos à termociclagem não apresentaram diferença significativa na resistência, no entanto, a descontaminação promovida pelas soluções ácidas aumentou levemente a resistência em comparação ao grupo controle. Por outro lado, a termociclagem reduziu significativamente a resistência à tração de todos os grupos experimentais, exceto para o grupo tratado com ácido clorídrico 1,0 N. Todos os espécimes mostraram um padrão de falha mista quando não foram termociclados, porém após a termociclagem praticamente metade dos espécimes apresentou falha adesiva, com exceção dos espécimes tratados com ácido clorídrico 1,0 N, que apresentaram somente falha mista. As superfícies tratadas e não tratadas não apresentaram diferença significativa com relação à rugosidade, mas foram significativamente menos rugosas se comparadas à superfície de titânio jateada. A contaminação superficial dos grupos tratados com ácido fosfórico 37% e ácido clorídrico 1,0 N não foram diferentes, portanto, o aumento de resistência promovido pelo tratamento com ácido clorídrico 1,0 N não pode somente ser atribuído a um maior embricamento mecânico, mas também a uma interação química entre material resinoso e titânio. O ácido clorídrico 1,0 N pode melhorar efetivamente a adesão do cimento resinoso ao titânio, devido ao seu potencial de descontaminação da superfície e aumento da absorção do monômero 10-MDP presente no cimento estudado. Em contrapartida, o ácido fosfórico a 37% não deveria ser utilizado, pois é fortemente absorvido pela superfície do titânio,

porém inibe a absorção dos grupos fosfóricos do monômero 10-MDP. Os autores consideram que esse tratamento químico com ácido clorídrico pode ser perfeitamente combinado com outros métodos que aumentem a retenção mecânica entre material resinoso e titânio, como o jateamento.

Abreu et al.¹ (2007) investigaram a resistência à tração entre infra-estruturas de metal nobre e não-nobre submetidas a diferentes pré-tratamentos de superfície e preparos minimamente retentivos. Sessenta e oito terceiros molares foram incluídos em tubo de PVC 1 mm abaixo da junção cimento-esmalte e preparados por meio de pantógrafo de forma padronizada. Foram obtidos preparos minimamente retentivos com uma convergência oclusal de 26° e altura de 3 mm, obtida pela secção da superfície oclusal perpendicularmente ao longo eixo dos dentes. As infra-estruturas foram confeccionadas em liga nobre (Pd-Ag, IPS d.SIGN 53) e não-nobre (Co-Cr, Rexillum NBF) e, então, submetidas à simulação de um ciclo de aquecimento em forno para porcelana, com o objetivo de formar uma camada de óxidos, de acordo com as instruções do fabricante. Três grupos experimentais foram preparados para cada liga: 1) somente oxidação; 2) oxidação + jateamento com partículas de Al₂O₃ de 50 µm (70 psi, por 10 segundos a uma distância de 10 mm) e 3) oxidação, jateamento e aplicação de *primer* para metal (Alloy Primer). As infra-estruturas de todos os grupos foram cimentadas com o cimento resinoso auto-adesivo RelyX Unicem (3M ESPE). Os espécimes foram armazenados a 37 °C por 24 horas, termociclados (500 ciclos – 5 e 55 °C – imersão por 30 segundos) e novamente armazenados nas mesmas condições anteriores, previamente ao ensaio de tração. Os autores observaram que o metal e os tratamentos de superfície não

influenciaram a resistência à tração. No entanto, a utilização do *primer* para metal em liga nobre promoveu fraturas predominantes na interface resina/dente ou na própria raiz.

A evolução dos métodos e materiais para se obter e melhorar a união de materiais resinosos ao metal e à porcelana foi revisada por Bertolotti⁴, em 2007, com base na literatura. O jateamento com partículas de Al_2O_3 é comentado como um tratamento de superfície que promove uma descontaminação superficial, eleva a energia e favorece o molhamento dessa superfície tratada por agentes de união sobre ela aplicados. O autor cita outros métodos de tratamento como: oxidação a alta temperatura, imersão em agentes oxidantes e anodização, ressaltando que atualmente são pouco empregados. Dentre os métodos de deposição de sílica são destacados o Silicoater (Heraeus Kulzer), no qual a camada de $SiOx-C$ é formada pela queima de uma solução aplicada sobre a superfície e, mais recentemente, os sistemas Cojet e Rocatec (3M ESPE), baseados no jateamento com partículas de Al_2O_3 modificadas por sílica. Esse jateamento além de promover retenção mecânica, por meio da rugosidade superficial, faz com que a sílica fique incrustada na superfície, permitindo a união química com o silano aplicado na sequência. Os adesivos “universais” como o All-Bond 2 System (Bisco), Clearfil Photo Bond e SE Bond (Kuraray) podem atuar como *primers* para metal por terem monômeros adesivos em sua composição. Esses monômeros estão presentes também em alguns cimentos resinosos e nos *primers* para metal, e são capazes de interagir quimicamente com os óxidos da superfície metálica jateada, favorecendo a união de materiais resinosos a ela. O autor comenta ainda sobre a eletrodeposição de

estanho, modalidade de tratamento que deve ser realizada após o jateamento convencional com Al_2O_3 , resultando em uma superfície coberta por minúsculos cristais de estanho, que podem estabelecer retenção mecânica ou união química com os materiais resinosos.

Kamada et al.¹⁴ (2007) avaliaram o efeito de quatro silanos (GC Ceramic Primer – GC, Clapearl Bonding Agent – Kuraray, Clearfil Mega Bond Porcelain Bonding Kit – Kuraray e RelyX Ceramic Primer – 3M ESPE) na resistência ao cisalhamento da união entre dois cimentos ionoméricos modificados por resina (Fuji Luting S – GC e Fuji Lute – GC) e uma cerâmica usinada a base de leucita. Foram confeccionados cem espécimes, os quais foram polidos com lixa de carbetto de silício, limpos em ultra-som com acetona e condicionados com ácido fosfórico por cinco segundos. Os espécimes foram divididos aleatoriamente em 10 grupos (n=10) de acordo com o silano e o cimento aplicados na área adesiva. O grupo controle foi constituído pela não aplicação de silano. Apenas metade dos espécimes de cada grupo foi termociclada (50.000 ciclos – 4 e 60 °C – imersão por 1 minuto) após o armazenamento em água a 37 °C por 24 horas e, então, realizado o ensaio de cisalhamento. Os autores observaram que todos os silanos melhoraram significativamente a resistência de união, portanto recomendam que os cimentos ionoméricos modificados por resina sejam associados a estes agentes de união para a cimentação de restaurações cerâmicas.

Matinlinna, Vallittu¹⁹ (2007) revisaram a literatura buscando discutir os métodos mais comuns de tratamento de superfície baseados na

silicatização e silanização e também as características químicas dos silanos. Os autores definem condicionamento como o tratamento de uma superfície para aumentar sua energia, devendo esta ser menor que a do agente de união, para que ocorra um adequado molhamento. Além disso, para esse agente de união ser eficaz, deve haver retenção micromecânica. Segundo os autores, os silanos têm a propriedade de unirem simultaneamente a materiais orgânicos e inorgânicos, sendo quimicamente bifuncionais. Também destacam que o silano mais comumente utilizado é o 3-metacrilóiloxipropiltrimetoxissilano (MPS ou 3-MPS) e descrevem os silanos pela fórmula $R-Y-SiX_3$, onde R é um grupo orgânico não hidrolisável que se une a matriz orgânica por meio da polimerização com os monômeros dos materiais resinosos; Y é um intermediador e Xs são os grupos inorgânicos hidrolisáveis que reagem com elementos inorgânicos de uma superfície submetida ao jateamento com partículas de Al_2O_3 modificadas por sílica. São descritos os seguintes tratamentos de superfície: condicionamento ácido, ataque eletrolítico, eletrodeposição de estanho, silicatização piroquímica e triboquímica, jateamento com partículas de Al_2O_3 , além da silanização. Os autores concluem que a silicatização triboquímica (jateamento com partículas de Al_2O_3 revestidas por sílica) é bastante utilizada atualmente para promover a união de materiais resinosos ao substrato metálico, cerâmico e compósito, sendo dependente da silanização imediata da superfície silicatizada. Por outro lado, os métodos de silicatização que empregam calor não estão sendo mais utilizados.

Em 2007, Matinlinna et al.²¹ avaliaram a adesividade de cinco silanos na união de um cimento resinoso ao titânio revestido por sílica. Vinte

lâminas (20 x 40 x 1 mm) de Ti cp grau 2 foram cortadas e jateadas em sua metade superior com Rocatec sob pressão de 280 kPa, por 15 segundos, perpendicular e a 10 mm da superfície. As superfícies foram tratadas com um dos seguintes silanos: A) 3-acriloiloxipropiltrimetoxissilano (ACR); B) 3-mercaptopropiltrimetoxissilano (MER); C) N-[3-(trimetoxissilil)propil]etilenodiamino (TPEA); D) bis-[3-(triethoxissilil)propil]polisulfeto (PSS); E) 3-metacrilóiloxipropiltrimetoxissilano (ESPE Sil) (grupo controle). Posteriormente, o cimento resinoso Rely ARC (3M ESPE) foi aplicado e fotopolimerizado sobre as superfícies tratadas. Metade dos espécimes foi imediatamente ensaiada, enquanto o restante foi termociclado (6.000 ciclos – 5 e 55 °C – imersão por 30 segundos) e, então, submetido ao ensaio de cisalhamento. O modo de fratura foi determinado por microscopia. Os autores observaram que as médias diferiram significativamente para os silanos e as condições de armazenamento. Independentemente da condição de armazenamento, os maiores valores de resistência foram atingidos pelos silanos ACR e MPS, enquanto os menores pelo TPEA e PSS. A fratura foi coesiva para os espécimes silanizados com ESPE Sil e ACR e mista para os demais silanos em ambas as condições de armazenamento. Todos os silanos apresentaram menores resistências de união após a termociclagem.

Rocha et al.³¹ (2007) estudaram o efeito de *primers* para metal na resistência de união entre cimentos resinosos adesivos e titânio fundido. Quarenta discos foram fundidos em Ti cp, incluídos em resina acrílica e polidos com lixa 400. Os espécimes foram jateados com partículas de Al₂O₃ de 50 µm durante 10 segundos, sob pressão de 0,5 MPa e distância de 5 mm da

superfície. Posteriormente, foram divididos em 4 grupos (n=10): 1) Panavia F (MDP); 2) Alloy Primer (MDP/VBATDT) + Panavia F (ambos da Kuraray); 3) Bistite DC (MAC-10); 4) Metaltite (MTU-6) + Bistite DC (ambos da Tokuyama). Após aplicação dos *primers* e fotopolimerização dos cimentos na área adesiva determinada, os espécimes foram armazenados em água destilada a 37 °C por 24 horas e, então, foi realizado o ensaio de cisalhamento. O modo de fratura foi determinado por meio de microscópio óptico. A utilização do cimento Panavia F sem *primer* resultou na resistência de união mais alta (17,95 MPa), enquanto sua associação ao Alloy Primer promoveu a menor resistência de união (9,31 MPa). O cimento Bistite DC sem *primer* ou a associação Metaltite-Bistite DC apresentaram resistências de união intermediárias e estatisticamente iguais (13,79 MPa e 12,98 MPa, respectivamente). Todos os grupos experimentais apresentaram predominância de falha adesiva. Os autores concluíram que o Panavia F apresentou resistência de união estatisticamente maior que o Bistite DC, independentemente da utilização do Metaltite. O Alloy Primer diminuiu significativamente a resistência de união do Panavia F, enquanto o Metaltite não influenciou a resistência de união do Bistite DC.

Schneider et al.³⁶ (2007) testaram a união de cimentos resinosos de presa dual ao titânio comercialmente puro, 10 minutos e 24 horas após o jateamento, por meio da resistência à tração. Cento e vinte discos foram fundidos em titânio, incluídos em cilindro plástico com resina acrílica autopolimerizável e polidos com lixas de granulação 320, 400 e 600. Os discos foram jateados com Al₂O₃ de 50 µm por 5 segundos, a uma distância de 5 mm da superfície, sob uma pressão de 80 psi. Os espécimes foram limpos em ultra-

som por 10 minutos e divididos em 4 grupos (30 discos cada): 1) Panavia F (Kuraray) – 10 min; 2) Panavia F – 24 h; 3) RelyX ARC (3M Dental Products) – 10 min; 4) RelyX ARC – 24 h. Nos grupos 1 e 2, um *primer* contendo os monômeros MDP e VBATDT (Alloy Primer – Kuraray) foi aplicado na superfície metálica a qual seria aplicado o cimento resinoso. Nos grupos 3 e 4, o silano Ceramic Primer (3M Dental Products) foi utilizado. Os discos foram cimentados em pares com pressão digital e armazenados em água destilada a 37 °C por 24 h. O modo de fratura foi determinado por meio de lupa estereoscópica. O RelyX ARC apresentou o valor mais alto de resistência à tração 24 h após o jateamento, mas não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos. Os autores sugerem que essa igualdade dos resultados pode ser explicada pelo fato do jateamento com Al₂O₃ ter propiciado uma padronização de superfície em todos os espécimes, assim a retenção micromecânica se tornou o principal meio de união dos cimentos ao titânio. Dessa forma, as partículas de alumina incrustadas na superfície tornaram-se responsáveis pela união química com o Alloy Primer e o silano aplicados na superfície, aumentando a resistência de união dos cimentos estudados e favorecendo resultados semelhantes de resistência de união à tração. No entanto, a predominância de fratura adesiva do RelyX ARC indica uma falha adesiva clínica prematura, e por outro lado, a predominância de fratura coesiva do Panavia F indica uma união clínica adesiva mais duradoura.

Gerdolle et al.⁹ (2008) avaliaram as características de absorção de água e solubilidade de quatro agentes cimentantes: Variolink II (Vivadent), Panavia F (Kuraray) - cimentos resinosos; Resinomer (Bisco) – resina modifica

por poliácidos; Fuji Plus (GC) - ionômero de vidro modificado por resina. Os espécimes (n=5), em forma de disco, foram confeccionados de acordo com as instruções dos fabricantes e depois dessecados. Os discos foram imersos por sete dias em água destilada e após este período foram pesados. Os espécimes foram dessecados novamente e pesados diariamente por 35 dias. A absorção de água e a solubilidade de cada espécime foram calculadas de acordo com as mudanças no peso observadas antes e após períodos de imersão e dessecação. O cimento ionomérico modificado por resina foi o que mais absorveu água (quatro vezes maior que a resina modifica por poliácidos e 12 vezes maior que os cimentos resinosos). Dos três cimentos a base de resina, o Resinomer demonstrou significativamente maior absorção de água, enquanto o Variolink II e o Panavia F não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre eles. O cimento ionomérico apresentou a maior solubilidade enquanto que os outros três não apresentaram diferença estatística. Sendo assim, pôde-se observar que os cimentos resinosos aparentam ser mais apropriados para corresponder às necessidades de longevidade que a resina modifica por poliácidos e os cimentos de ionômero de vidro modificados por resina.

A resistência ao cisalhamento da união de uma resina composta indireta a uma liga de NiCr submetida a duas condições de jateamento e aplicação de 4 *primers* foi estudada por Sarafianou et al.³⁴, em 2008. Cinquenta e seis discos (10 mm de diâmetro e 1,5 mm de altura) foram fundidos em liga de NiCr, sendo 24 jateados com partículas de Al₂O₃ de 50 µm e igual número de espécimes jateados com partículas de Al₂O₃ de 250 µm. Para cada condição de jateamento foi confeccionado um disco adicional para determinar o conteúdo de

alumínio em suas superfícies, sem a realização do procedimento adesivo. O jateamento foi realizado por 5 segundos sob pressão de 6 atm, a 45° e 10 cm de distância da superfície. O grupo controle foi constituído por 6 espécimes jateados com o sistema Rocatec (3M ESPE), sob pressão de 2,8 atm, a 10 cm da superfície, durante 10 e 13 segundos, respectivamente (Rocatec Pre e Plus), seguido da aplicação de silano (ESPE-Sil – 3M ESPE). Os espécimes foram limpos em ultrassom por 5 minutos e secos com jatos de ar livres de óleo. Os seguintes *primers* foram aplicados (n=6): 1) Solidex Metal Photo Primer (MPP50, MPP250); 2) Metal Primer II (MPII50, MPII250); 3) SR Link (SRL50, SRL 250); 4) Tender Bond (TB50, TB 250). O opaco (Sinfony Resin opaquer – 3M ESPE) foi aplicado, fotopolimerizado e, na sequência, aplicou-se a resina composta indireta microhíbrida (Sinfony – 3M ESPE), a qual também foi fotopolimerizada. Os espécimes foram termociclados (5.000 ciclos – 5 e 55 °C – imersão por 30 segundos) e submetidos ao ensaio de cisalhamento. O modo de fratura foi determinado por meio de microscópio óptico. Além disso, foi realizada microscopia eletrônica de varredura e análise por EDS. Foi observado que os grupos jateados com Al₂O₃ de 50 µm apresentaram resistência significativamente maior em relação àqueles jateados com Al₂O₃ de 250 µm, independentemente dos *primers* utilizados. Todos os grupos mostraram diferenças significantes entre si, com exceção dos grupos MPP50 com TB50 e MPP250 com TB250. Os *primers* MPP e TB apresentaram resistência significativamente menor se comparados ao Rocatec, independentemente da partícula de Al₂O₃ utilizada. Não foram observadas diferenças significantes entre os *primers* MPII e SRL para ambos os tamanhos de partícula de Al₂O₃ quando comparados ao Rocatec. Os *primers* MPP e TB apresentaram falha adesiva,

enquanto o MPII e o SRL, assim como o Rocatec, exibiram falha combinada, predominantemente adesiva. A microscopia eletrônica de varredura permitiu observar que o jateamento com as partículas de 50 µm promoveu uma superfície mais irregular em relação às de 250 µm. Os espécimes jateados com Al₂O₃ de 50 µm mostraram maior concentração superficial de alumínio em comparação aos jateados com partículas de 250 µm.

Saskalauskaite et al.³⁵ (2008) compararam a resistência à flexão, o módulo de elasticidade e o pH entre cimentos resinosos auto-adesivos (RelyX Unicem – 3M ESPE, Maxcem – Kerr, Embrace – Pulpdent), cimentos resinosos convencionais (RelyX ARC – 3M ESPE, Linkmax – GC) e cimentos ionoméricos modificados por resina (Fuji Plus – GC, RelyX Luting Plus – 3M ESPE). Foram confeccionados oito espécimes retangulares (2 x 2 x 25 mm) para o ensaio de flexão e determinação do módulo de elasticidade. Os espécimes foram armazenados em água destilada a 37 °C no escuro durante 24 horas e, então, submetidos ao ensaio de flexão em três pontos, cuja carga de deformação foi utilizada para o cálculo do módulo de elasticidade. Para a mensuração de pH (n=4) um eletrodo era colocado sobre a superfície do espécime para registrar as mensurações em um intervalo de 0, 2, 5, 15 e 30 minutos e 1, 2, 4, 6 e 24 horas após mistura. Todos os testes foram realizados nas condições de auto e fotopolimerização para os cimentos de presa dual. Os cimentos ionoméricos modificados por resina apresentaram a menor resistência à flexão, enquanto os auto-adesivos mostraram resistência à flexão semelhante aos resinosos convencionais. Em geral, os cimentos resinosos auto-adesivos apresentaram módulo de elasticidade significativamente maior que os ionoméricos modificados

por resina e os resinosos convencionais. Os cimentos auto-adesivos exibiram pH inicial significativamente menor (2,0 a 2,4) que os resinosos convencionais (4,8 a 5,2). O cimento auto-adesivo RelyX Unicem mostrou um comportamento único para o pH, caracterizado por um aumento rápido para neutralidade tanto foto (15 minutos) quanto autopolimerizado (1 hora). Os autores concluíram que os cimentos resinosos duais, convencionais ou auto-adesivos, mostraram propriedades significativamente superiores quando fotopolimerizados.

A efetividade de um método simplificado de deposição de sílica (sistema Cojet – 3M ESPE) na resistência de união de um cimento resinoso a uma liga metálica foi estudada por Watanabe et al.⁴³, em 2008. Para isso, a liga de AuAgPd foi fundida em barras de 10 × 15 × 2 mm, as quais foram incluídas em resina autopolimerizável e polidas com lixas de granulação 600. Para determinar as concentrações de alumínio e silício na superfície, os seguintes tratamentos foram realizados: 1) polimento com lixa 600; 2) jateamento com Al₂O₃ de 25 µm; 3) jateamento com Cojet (30 µm); 4) jateamento com Cojet após Al₂O₃. Os tratamentos de superfície avaliados por meio do ensaio de cisalhamento foram os seguintes (n=10): 1) jateamento com Al₂O₃ de 25 µm + aplicação de *primer* para metal (Metal Primer II – GC); 2) jateamento com Cojet + aplicação de silano (ESPE-Sil – 3M ESPE); 3) jateamento com Al₂O₃ de 25 µm e Cojet + aplicação de silano (ESPE-Sil); 4) jateamento com Cojet + aplicação de silano (Porcelain Bond – Kuraray); 5) jateamento com Al₂O₃ de 25 µm e Cojet + aplicação de silano (Porcelain Bond). O jateamento foi realizado por 15 segundos, a uma distância de 0,5 cm da superfície e pressão de 40,8 MPa. Pastilhas de resina (Clearfil DC Core Automix – Kuraray) de 2 mm de espessura

e 4,6 mm de diâmetro foram cimentadas com cimento resinoso (Panavia F2.0 – Kuraray) sobre as superfícies tratadas e um peso foi colocado para aplicar uma carga estática durante a polimerização química do cimento. Posteriormente, os espécimes foram armazenados em umidade de 100% a 37 °C por 24 h. Metade dos espécimes foi ensaiada sem ser submetida à simulação de ciclos térmicos, enquanto a outra metade recebeu 20.000 ciclos a 5 e 60 °C com tempo de imersão de 60 segundos. Nos grupos não termociclados, os valores de resistência de união dos espécimes jateados com Cojet, independentemente do silano utilizado, foram significativamente maiores que aqueles dos espécimes jateados com Al_2O_3 , indicando que a deposição de sílica melhorou a resistência de união à liga de AuAgPd. Embora estatisticamente não tenha havido diferença entre os grupos jateados com Cojet e aqueles jateados com Cojet após Al_2O_3 , a primeira condição mostrou valores médios mais altos que a segunda. Os grupos termociclados não apresentaram diferenças estatisticamente significantes entre os tratamentos, no entanto, o jateamento apenas com Cojet mostrou maiores valores médio que a combinação Al_2O_3 + Cojet. A concentração de alumínio foi maior na superfície jateada com Al_2O_3 e Cojet do que aquela jateada com Cojet apenas, enquanto para a concentração de silício observou-se o inverso, mostrando que o pré-tratamento com Al_2O_3 produz resíduos de alumínio na superfície do metal, que inibem a deposição de sílica pelo Cojet. Assim, os autores concluíram que o sistema Cojet empregado isoladamente produziu uma camada de sílica firme sobre a superfície metálica.

Fawzy, El-Askary⁷ (2009) estudaram os efeitos do tratamento com ácido ou substância alcalina/aquecimento na caracterização da superfície de

titânio comercialmente puro jateada. Os autores também avaliaram a influência destes tratamentos na resistência de união de cimentos ao Ti cp. Cento e oitenta discos (5 mm de diâmetro e 2 mm de espessura) foram usinados e divididos em 3 grupos: 1) (GB – grupo controle): jateamento com partículas de Al_2O_3 de 50 μm por 5 min e pressão de 30 psi; 2) (GB/Ac): jateamento e imersão em solução de HNO_3/HF por 15 min; 3) (GB/Ak): jateamento e imersão em solução de $NaOH$ a 60 °C por 24 h, seguida do aquecimento a 600 °C por 1 h em forno elétrico. Após o jateamento os discos foram limpos em ultrasom com etanol 95%. A microtopografia de superfície foi caracterizada por microscopia de força atômica e microscopia eletrônica de varredura. Para investigar a composição superficial foi realizada a análise de LIBS. Os cimentos utilizados foram: 1) cimento de ionômero de vidro convencional (Fuji I – GC); 2) cimento de ionômero de vidro modificado por resina (Fuji Plus – GC); 3) cimento resinoso (RelyX Unicem – 3M ESPE). Os discos foram cimentados em pares, seguindo-se a recomendação do fabricante de cada cimento. Na sequência, foram armazenados em água destilada por 24 h previamente ao ensaio de cisalhamento. Após o ensaio os discos foram examinados em microscópio eletrônico de varredura para avaliar o padrão de fratura. A análise de morfologia de superfície permitiu observar que as superfícies jateadas apresentaram depressões macroscópicas, possivelmente pelo resultado do alto impacto das partículas de Al_2O_3 lançadas durante o jateamento. Além disso, a análise de LIBS dos espécimes jateados mostrou sinais bem definidos de alumínio se comparado aos outros grupos, podendo ser resultado de partículas de Al_2O_3 remanescentes. O ataque ácido resultou em uma superfície mais uniforme de textura fina com numerosas elevações. Nas superfícies tratadas com $NaOH$ /aquecimento observou-se uma camada rugosa

de titanato de sódio. Os tratamentos com ácido e solução alcalina diminuíram a rugosidade superficial em relação ao jateamento com partículas de Al_2O_3 , sendo essa diminuição mais significativa no tratamento com ácido. O aumento da área superficial foi significativamente menor para as superfícies tratadas com ácido. Em contrapartida, esse tratamento resultou em número significativamente maior de elevações por unidade de área superficial. Os espécimes que receberam o tratamento GB/Ak mostraram aumento significativo na resistência de união se comparados aos outros tratamentos, independentemente do cimento utilizado. Os autores ressaltam que essa melhora na resistência de união não pode ser explicada somente pela rugosidade superficial, atribuindo-se a uma união micromecânica, pois os grupos GB e GB/Ac não apresentaram diferenças significantes na resistência de união apesar do segundo ter mostrado menor rugosidade que o primeiro. Além disso, a rugosidade do GB foi maior que do GB/Ak, o que não garantiu ao primeiro grupo maior resistência de união. Assim, a significativa contribuição da união química nos valores de resistência do grupo GB/Ak deve ser levada em consideração. O cimento RelyX Unicem aumentou a resistência de união em relação aos outros cimentos utilizados, independentemente do tratamento de superfície empregado. Os resultados foram os seguintes: Fuji I-GB: $12,76 \pm 4,27$; Fuji Plus-GB: $10,93 \pm 2,20$; RelyX Unicem-GB: $20,43 \pm 4,31$; Fuji I-GB/Ac: $9,31 \pm 1,62$; Fuji Plus-GB/Ac: $10,75 \pm 0,93$; RelyX Unicem-GB/Ac: $20,86 \pm 2,13$; Fuji I-GB/Ak: $17,76 \pm 3,34$; Fuji Plus-GB/Ak: $16,03 \pm 3,59$; RelyX Unicem-GB/Ak: $26,3 \pm 2,56$. Em geral os cimentos Fuji I e Fuji Plus mostraram predominância de falha coesiva, enquanto o RelyX Unicem de falha adesiva.

Fonseca et al.⁸ (2009) avaliaram o efeito de *primers* para metal na resistência de união entre cimentos resinosos e metais básicos. Cento e sessenta discos (9 mm de diâmetro e 3 mm de espessura) de Ti cp grau 2 e liga de NiCr (VeraBond II) foram fundidos, incluídos em resina acrílica e polidos com lixas 320, 400 e 600. Os espécimes foram jateados com partículas de Al₂O₃ de 50 µm durante 20 segundos, sob pressão de 35 psi e a uma distância de 10 mm da superfície. Oitenta espécimes de cada substrato foram divididos em 4 grupos (n=20), de acordo com uma das seguintes técnicas de cimentação: 1) Panavia F; 2) Alloy Primer + Panavia F (Kuraray); 3) Bistite II DC; 4) Metaltite + Bistite II DC (Tokuyama). O Alloy Primer e o Metaltite apresentam respectivamente os monômeros adesivos MDP/VBATDT e MTU-6, enquanto o Panavia F e o Bistite II DC contêm os monômeros MDP e MAC-10, respectivamente. Os cimentos foram aplicados em uma matriz metálica bipartida (5 mm de diâmetro interno e 2 mm de espessura) dentro de uma caixa de revelação radiográfica para evitar a exposição à luz, garantindo apenas a presa química dos mesmos. Após 40 minutos, os espécimes foram armazenados em água destilada a 37 °C por 24 horas e termociclados (1.000 ciclos – 5 e 55 °C – imersão por 30 segundos). Posteriormente, foram armazenados sob as mesmas condições por 24 horas adicionais ou 6 meses (n=10), para que então fosse realizado o ensaio de cisalhamento. Cada espécime foi examinado em microscópio óptico para determinação do modo de fratura. Os autores concluíram que o Alloy Primer reduziu significativamente a resistência de união do Panavia F à liga de NiCr no armazenamento de 24 horas e não teve influência nos demais grupos. Independentemente do metal e tempo de armazenamento, o Metaltite não teve nenhum efeito na resistência de união do Bistite II DC. O armazenamento em

água por 6 meses aumentou a resistência de união dos grupos de titânio que receberam Panavia F e Alloy Primer + Panavia F. Em geral, as resistências de união ao titânio foram significativamente maiores do que à liga de NiCr.

Almeida-Júnior et al.² (2010) estudaram o efeito de tratamentos de superfície na resistência ao cisalhamento da união de um cimento resinoso ao titânio comercialmente puro. Noventa discos (9 mm de diâmetro e 3 mm de espessura) foram fundidos em Ti cp, incluídos em tubo de PVC e polidos com lixas de granulação 150, 400 e 600. Os espécimes foram divididos em 3 grupos (n=30), os quais receberam uma das seguintes condições de jateamento: 1) partículas de Al₂O₃ de 50 µm; 2) partículas de Al₂O₃ modificadas por sílica de 30 µm (Cojet Sand); 3) partículas de Al₂O₃ modificadas por sílica de 110 µm (Rocatec). O jateamento foi realizado por 10 segundos, com pressão de 4,8 bar, perpendicular e a uma distância de 10 mm da superfície do espécime. A limpeza foi realizada em ultra-som com água destilada por 10 minutos. Para cada condição de jateamento, os seguintes tratamentos pós-jateamento foram utilizados (n=10): 1) nenhum; 2) adesivo Adper Single Bond 2; 3) silano RelyX Ceramic Primer. O cimento resinoso RelyX ARC foi aplicado à superfície do Ti cp no interior de uma câmara escura para revelação radiográfica, de forma que tivesse apenas sua polimerização química. Todos os espécimes foram armazenados em água destilada a 37 °C por 24 h, termociclados (5.000 ciclos – 5 e 55 °C – imersão por 30 segundos) e, então, ensaiados. O modo de fratura foi determinado. Todos os grupos apresentaram 100% de falha adesiva. Os autores observaram que nas situações em que se promoveu apenas retenção micromecânica (nenhum tratamento pós-jateamento e adesivo), o jateamento

com partículas de Al_2O_3 de 50 μm e Rocatec promoveu resistências de união estatisticamente iguais entre si e maiores que às do Cojet Sand, sugerindo que o tamanho de partícula tenha sido um fator decisivo para esses resultados. Por outro lado, quando o silano foi utilizado, ambos os sistemas que visam à deposição de sílica (Cojet Sand e Rocatec) exibiram resistências de união significativamente maiores que o jateamento com Al_2O_3 de 50 μm , tendo o Rocatec apresentado ainda assim, maior resistência de união que o Cojet Sand. Esses resultados evidenciam a composição química das partículas como um fator mais decisivo que o tamanho de partícula nessa situação, além da indispensabilidade do silano após o jateamento com o Cojet Sand e o Rocatec. Nos grupos jateados com partículas de Al_2O_3 de 50 μm , o adesivo promoveu resistência de união significativamente maior que o silano, mostrando uma possível instabilidade da ligação desse material às partículas de Al_2O_3 , o que também justificaria nesses grupos a não diferença estatística entre o silano e nenhum tratamento pós-jateamento. Três combinações promoveram maior resistência de união que o protocolo do fabricante do RelyX ARC. Uma delas foi o Rocatec + silano, que promoveu a mais alta resistência de união e, em segundo lugar, o jateamento com Al_2O_3 de 50 μm + adesivo e o Cojet Sand + silano, estatisticamente iguais entre si. Assim, os autores concluíram que certas combinações de tratamentos que favorecem a retenção micromecânica podem produzir resistências de união tão fortes quanto às daquelas dos tratamentos promotores de ambos os mecanismos de união.

Nakamura et al.²⁶ (2010) compararam a resistência à flexão, o módulo de elasticidade, a absorção de água e expansão após armazenamento

de dois novos cimentos resinosos auto-adesivos (SAC-H e SAC-A – Kuraray Medical), um cimento resinoso convencional (Panavia F2.0), três cimentos resinosos auto-adesivos (RelyX Unicem, Maxcem e G-Cem) e dois cimentos ionoméricos modificados por resina (Fuji Luting S e Vitremer). Os ensaios de flexão em três pontos e de absorção de água foram realizados de acordo com a norma ISO 4049. Para o ensaio de flexão em três pontos, após confeccionados, os espécimes foram armazenados em água destilada a 37 °C por 24 horas e, então, ensaiados. O módulo de elasticidade foi calculado a partir de dados do ensaio de flexão. Para avaliar a absorção de água, o diâmetro médio dos espécimes foi mensurado por meio do comprimento de duas linhas perpendiculares entre si, passando pelo centro do espécime. Posteriormente, foram armazenados em solução salina fisiológica a 37 °C e o diâmetro médio mensurado na 1^a, 2^a, 3^a e 4^a semanas após o início da imersão em água, possibilitando o cálculo da taxa de expansão devido à absorção de água. O SAC-H e o SAC-A apresentaram maiores valores de resistência à flexão (86,4-93,5 MPa) que os cimentos resinosos auto-adesivos e, dentre estes, o RelyX Unicem e Maxcem exibiram resistências superiores em relação aos cimentos ionoméricos. Os módulos de elasticidade dos cimentos auto-adesivos e ionoméricos foram 5,2-7,4 GPa e 2,3-3,4 GPa, respectivamente. As absorções de água do SAC-H e do SAC-A foram significativamente menores que a dos outros cimentos resinosos auto-adesivos, assim como as taxas de expansão em relação aos demais cimentos após 4 semanas de armazenamento em água. Os cimentos ionoméricos exibiram as maiores taxas de expansão. Os autores concluíram que os novos cimentos resinosos auto-adesivos apresentam propriedades mecânicas favoráveis.

Proposição

3 PROPOSIÇÃO

Em virtude das considerações realizadas anteriormente, este estudo se propôs a:

- avaliar, por meio da resistência ao cisalhamento (RC), a eficácia de diferentes tratamentos de superfície do titânio comercialmente puro (Ti cp) fundido na união com os cimentos ionomérico (RelyX Luting 2 – 3M ESPE) e resinosos (RelyX ARC – 3M ESPE e RelyX U100 – 3M ESPE AG);
- analisar, com o uso de estereomicroscópio, o modo de fratura predominante em cada condição experimental para auxiliar no entendimento dos resultados da proposta apresentada anteriormente.

Material e Método

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 Material

Os materiais utilizados neste estudo estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Materiais utilizados

Material	Composição	Fabricante	Lote
Ti cp grau II	Ti > 99%	RMI Co, Niles, OH, EUA	-
Partículas de Al ₂ O ₃ de 50 µm	Al ₂ O ₃ > 99%	Bio-Art Equip. Odontol. Ltda., São Carlos, SP, Brasil	198461
Partículas de Al ₂ O ₃ de 120 µm	Al ₂ O ₃ > 99%	Bio-Art Equip. Odontol. Ltda., São Carlos, SP, Brasil	193640
Partículas de Al ₂ O ₃ de 250 µm	Al ₂ O ₃ > 99%	Polidental Ind. e Comércio Ltda., Cotia, SP, Brasil	14978
Cojet Sand	Partículas de Al ₂ O ₃ modificadas por sílica de 30 µm	3M ESPE AG, Seefeld, Alemanha	320861
Rocatec Plus	Partículas de Al ₂ O ₃ modificadas por sílica de 110 µm	3M ESPE AG, Seefeld, Alemanha	349940
Silano RelyX Ceramic Primer	3-metacrilóiloxipropiltrimetoxisilano, etanol, água	3M ESPE, St. Paul, MN, EUA	8YR
Cimento ionomérico RelyX Luting 2	ácido policarboxílico com grupos metacrilato, Bis-GMA, HEMA, partículas de zircônia e sílica, fluoroaluminossilicato de vidro	3M ESPE, St. Paul, MN, EUA	PC8MJ
Cimento resinoso RelyX ARC	Bis-GMA, TEGDMA, partículas de zircônia e sílica	3M ESPE, St. Paul, MN, EUA	GL8HR
Cimento resinoso RelyX U100	monômeros metacrilatos modificados por grupamentos fosfatados, partículas silanizadas	3M ESPE AG, Seefeld, Alemanha	347167

Bis-GMA: bisfenol-A-glicidil metacrilato, TEGDMA: trietileno glicol dimetacrilato, HEMA: 2-hidroxiethylmetacrilato

4.2 Método

4.2.1 Confeção dos discos em Ti cp

Foram confeccionados 240 discos em titânio comercialmente puro (Ti cp). Para isso, utilizou-se uma matriz metálica circular com um orifício de 9,0 mm de diâmetro e 3,0 mm de espessura (Figura 1).



FIGURA 1 - Matriz metálica para obtenção dos padrões para fundição.

Essa matriz foi isolada com vaselina, posicionada sobre uma placa de vidro recoberta com folha de acetato e, então, seu orifício foi totalmente preenchido com resina acrílica quimicamente ativada Jet (Artigos Odontológicos Clássico, São Paulo, SP, Brasil). Após essa etapa, outra placa de vidro também protegida com folha de acetato foi colocada sobre a matriz preenchida. Sobre esse conjunto foi posicionada uma massa de 500 g para a padronização da pressão. A utilização da folha de acetato teve por objetivo evitar que a resina acrílica aderisse ao vidro, facilitando dessa maneira, sua remoção. Após a polimerização da resina acrílica, o padrão para fundição foi destacado da matriz.

Para a inclusão dos padrões, foi utilizada base de PVC formadora de cadinho nº 5 (OGP Produtos Odontológicos Ltda., São Paulo, SP, Brasil), própria para fundição de titânio. Um conduto de alimentação na forma losangular foi manualmente confeccionado com cera utilidade (Wilson; Polidental Indústria e Comércio Ltda., Cotia, SP, Brasil), no qual foram posicionados, por meio de fio de cera (Dentaurum J.P. Winkelstroeter KG, Ispringen, Alemanha) com 5 mm de diâmetro, cinco padrões de resina acrílica, com o cuidado para que ficassem na mesma altura. Esse conjunto foi fixado com cera utilidade (Wilson; Polidental Indústria e Comércio Ltda., Cotia, SP, Brasil) ao vértice do cone de cada uma das bases (Figura 2). Posteriormente, foi aplicado agente umectante (Kota Ind. e Comércio Ltda., São Paulo, SP, Brasil) em todas as superfícies a serem incluídas e aguardou-se a secagem. Em seguida, um anel de aço inox para fundição nº 5 (OGP Produtos Odontológicos Ltda., São Paulo, SP, Brasil), com 44 mm de diâmetro e 50 mm de altura, revestido com fita cerâmica umedecida (KeraVlies; Dentaurum J.P. Winkelstroeter KG, Ispringen, Alemanha) foi adaptado à base formadora de cadinho.



FIGURA 2 - Padrões de resina acrílica fixados na base de PVC.

O revestimento Rematitan Plus (Dentaurum J.P. Winkelstroeter KG, Ispringen, Alemanha) foi proporcionado (170 g de pó e 27 ml de líquido),

espatulado mecanicamente a vácuo em um espatulador elétrico (Turbo Mix; EDG Equipamentos e Controles Ltda., São Carlos, SP) e a mistura foi vertida no anel, sob vibração, até que fosse preenchido com ligeiro excesso. Dez minutos após, a superfície superior do revestimento foi recortada para facilitar a eliminação dos gases durante o processo de fundição. Decorridas duas horas, tempo necessário para a presa do revestimento, o anel foi levado ao forno elétrico EDGCON 5P (EDG Equipamentos e Controles Ltda., São Carlos, SP, Brasil), para eliminação da resina acrílica e da cera, como também para a expansão térmica do revestimento. O ciclo de aquecimento empregado, seguindo as orientações do fabricante do revestimento, está descrito na Tabela 2.

Tabela 2 - Ciclo de aquecimento para o revestimento Rematitan Plus

Programa	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Temperatura	150 °C	250 °C	1000 °C	430 °C
Velocidade	5 °C/min	5 °C/min	5 °C/min	5 °C/min
Tempo	90 min	90 min	60 min	30 min

A fundição do Ti cp foi realizada na máquina Discovery Plasma (EDG Equipamentos e Controles Ltda., São Carlos, SP, Brasil) por meio de arco voltaico em atmosfera de gás argônio. Essa máquina possui duas câmaras: uma superior (câmara de fusão), onde estão o cadinho de cobre e o eletrodo de tungstênio, e uma inferior, na qual é posicionado o molde de revestimento.

O lingote de Ti cp com 17 mm de diâmetro, 15 mm de altura e massa de 15 g, foi inserido no cadinho à distância de 5 mm do eletrodo, utilizado para produzir o arco voltaico que funde o metal. Após a fusão do metal, o cadinho foi vertido para baixo e, devido à gravidade e à diferença de pressão

entre as duas câmaras, dada pelo argônio, o metal fundido foi injetado no interior do molde de revestimento. Esse processo é totalmente automatizado.

Após a fundição, o conjunto foi resfriado por imediata imersão em água, conforme as orientações do fabricante. As peças foram desincluídas com auxílio de martelo pneumático e os condutos eliminados com disco de carborundum (Dentorium Export Ltd., Nova Iorque, NY, EUA) liberando-se assim os discos.

4.2.2 Inclusão dos discos

Os discos de titânio foram incluídos em tubo de PVC de 20,0 mm de diâmetro e 27,0 mm de altura, com resina acrílica quimicamente ativada Jet (Artigos Odontológicos Clássico, São Paulo, SP, Brasil) de forma que uma de suas superfícies ficasse exposta e centralizada (Figura 3).



FIGURA 3 - Discos de Ti cp incluídos em tubo de PVC.

4.2.3 Tratamentos das superfícies dos discos

Após a inclusão, os discos tiveram suas superfícies regularizadas com lixas de carvão de silício de granulações decrescentes (150, 400, 600) em politriz (Metaserv 2000; Buehler UK Ltd., Coventry, Inglaterra). Esse procedimento foi realizado sob refrigeração à água e, em média, por um período de três minutos em cada uma das lixas a uma velocidade de 400 rpm. As lixas eram trocadas a cada 4 discos.

Os discos foram divididos aleatoriamente em 24 grupos de 10 espécimes, de acordo com o tratamento de superfície e o cimento empregados, conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1 - Descrição dos tratamentos de superfície e cimentos empregados

Tratamentos de superfície	Cimentos
Al ₂ O ₃ 50 µm	RelyX Luting 2 cimento ionomérico modificado por resina
Al ₂ O ₃ 120 µm	
Al ₂ O ₃ 250 µm	
	RelyX ARC cimento resinoso não-adesivo à restauração
Al ₂ O ₃ 50 µm + silano	
Al ₂ O ₃ 120 µm + silano	
Al ₂ O ₃ 250 µm + silano	RelyX U100 cimento resinoso não adesivo à restauração, "auto-adesivo" ao dente
Cojet Sand (30 µm) + silano	
Al ₂ O ₃ 120 µm + Rocatec (110 µm) + silano	

Protocolo do fabricante:

RelyX Luting 2 e RelyX U100 = jateamento com partículas de Al₂O₃

RelyX ARC = jateamento com partículas de Al₂O₃ + silano

O jateamento foi realizado durante 10 segundos por meio de jateador (Basic Classic; Renfert GmbH, Hilzingen, Alemanha) com pressão de 70 psi e distância de 10,0 mm entre a ponta do aparelho e a superfície do metal, mantida por meio de dispositivo padronizador (Figura 4), que também garantiu a perpendicularidade entre ambas. Após essa etapa, os espécimes foram limpos em ultra-som (Thornton; Inpec Eletrônica Ltda., Vinhedo, SP, Brasil) com água destilada por 10 minutos e, posteriormente, deixados secar à temperatura ambiente.



FIGURA 4 - Dispositivo para padronização do jateamento.

Nos grupos silanizados, o RelyX Ceramic Primer (3M ESPE) foi aplicado sobre a superfície metálica com auxílio de pincel e, então, deixado evaporar por 1 minuto à temperatura ambiente.

4.2.4 Aplicação dos cimentos nos discos

O cimento ionomérico RelyX Luting 2 e os cimentos resinosos RelyX ARC e RelyX U100, todos da 3M ESPE, os quais possuem dois componentes (pasta-pasta), foram proporcionados em massa (0,070 g de cada pasta) em balança de precisão (modelo BG 440; Ind. e Com. Eletro-Eletrônica Gehaka Ltda., São Paulo, SP, Brasil) e espatulados respeitando-se o tempo de espatulação de cada cimento (20, 10 e 20 segundos, respectivamente), antes de serem aplicados sobre os espécimes.

Para a aplicação dos cimentos na área adesiva, foi posicionada sobre a superfície do espécime, por meio de um anel metálico centralizador, uma matriz metálica bipartida com diâmetro interno de 5,0 mm e 2,0 mm de espessura (Figura 5A) isolada com vaselina. Os cimentos resinosos utilizados neste estudo apresentam mecanismo de presa dual, portanto as etapas de espatulação e inserção desses cimentos na matriz foram realizadas em caixa de revelação radiográfica (Manoel Pereira Gonçalves Ind. Com., Diadema, SP, Brasil) para que não houvesse influência da luz, ocorrendo apenas ativação química do cimento, assim como ocorre na cimentação das restaurações com infra-estrutura metálica. Para o cimento ionomérico RelyX Luting 2, as etapas de espatulação e inserção foram realizadas sem a preocupação com a influência da luz, pelo fato desse cimento apresentar apenas ativação química, sendo autopolimerizável. Após a inserção dos cimentos na matriz foi posicionada sobre a mesma uma tira de poliéster (K Dent; Quimidrol Com. Ind. Imp. Ltda., Joinville, SC, Brasil), uma placa de vidro e uma massa de 500 g para a padronização da pressão.

Decorridos os tempos de presa de 15, 10 e 5 minutos para os cimentos RelyX Luting 2, RelyX ARC e RelyX U100, respectivamente, o anel centralizador e a matriz bipartida foram removidos e, quarenta minutos após a aplicação dos cimentos, os espécimes (Figura 5B) foram armazenados em frascos escuros contendo água destilada, em estufa a 37 °C por 24 horas. O cuidado de se utilizar frascos escuros, que não permitissem a passagem de luz, foi levado em consideração particularmente devido aos cimentos resinosos duais estudados.

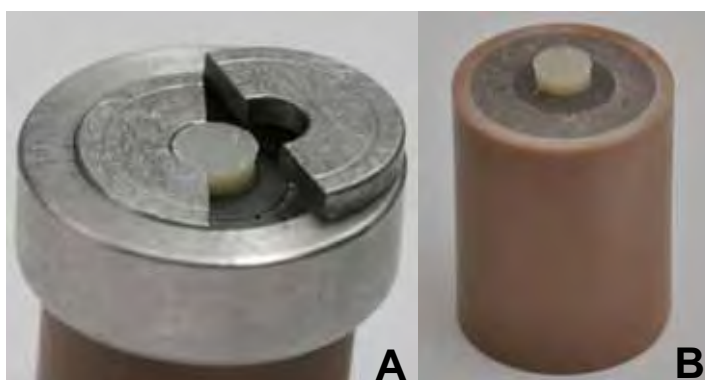


FIGURA 5 - A - Matriz bipartida posicionada sobre a superfície metálica. B - Espécime após aplicação dos cimentos.

Posteriormente, os espécimes foram termociclados em máquina de simulação de ciclos térmicos (modelo MSCT-3, Elquip, São Carlos, SP, Brasil) empregando-se 5.000 ciclos, com temperatura variando entre 5 e 55 °C e tempo de imersão de 30 segundos em cada banho.

Após essa etapa, os espécimes foram armazenados igualmente em água destilada, em estufa a 37 °C, por um tempo adicional de 24 horas e, então, submetidos ao ensaio de cisalhamento, realizado em máquina de ensaios

mecânicos (EMIC DL2000; EMIC Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda., São José dos Pinhais, PR, Brasil), com célula de carga de 1 kN e velocidade do atuador de 0,5 mm/min.

Para o ensaio, utilizou-se uma haste cilíndrica com extremidade na forma de cinzel, o qual tangenciava a superfície plana do espécime, promovendo uma força vertical compressiva (cisalhamento) na interface adesiva (titânio/cimento) (Figura 6).



FIGURA 6 - Ensaio de cisalhamento da união.

Os valores de resistência ao cisalhamento (RC) foram registrados em MPa e tabulados para a análise estatística.

4.2.5 Análise da fratura

Após o ensaio mecânico, a superfície dos espécimes foi observada em estereomicroscópio (modelo M80; Leica Microsystems Ltd, Heerbrugg, Suíça) com aumento de 20 vezes, sendo as imagens capturadas pelo programa de computador Leica Application Suite EZ (Leica Microsystems

Ltd, Heerbrugg, Suíça), analisadas e classificadas por um único observador calibrado como adesiva, coesiva ou mista.

Para esta classificação, a área adesiva foi dividida em quadrantes³³ e em cada um deles foi observado o modo de fratura predominante. A fratura foi classificada como adesiva ou coesiva caso um desses modos de fratura predominasse em três ou mais quadrantes, e classificada como mista caso dois quadrantes apresentassem falha adesiva e os outros dois, falha coesiva.

4.2.6 Planejamento experimental

Para cada grupo experimental, foram confeccionados 10 espécimes.

Uma vez que os valores originais da resistência ao cisalhamento (Tabelas 1A, 2A e 3A do Apêndice) não preencheram os requisitos para realização de testes paramétricos (distribuição normal e homogeneidade entre as variâncias), foi realizada a transformação dos dados empregando-se raiz quadrada (Tabelas 3A, 4A e 5A do Apêndice). Este artifício tornou possível a realização dos testes paramétricos.

Os dados transformados foram analisados por meio de Análise de Variância (ANOVA) a 2 fatores (tratamento de superfície e cimento) e teste de Tukey, empregando-se o programa estatístico SPSS 11.0 (Statistical Package for Statistical Science Inc., Chicago, IL, EUA).

Foi adotado nível de significância de 5%.

Resultado

5 RESULTADO

Os resultados da ANOVA 2 fatores (Tabela 3) indicaram diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos de superfície ($P < 0,001$), entre os cimentos ($P < 0,001$) e para a interação tratamento de superfície x cimento ($P < 0,001$).

Tabela 3 - ANOVA 2 fatores

Fonte de variação	Soma dos quadrados	G.L.	Quadrados médios	F	P
Tratamento de superfície	9,04	7	1,29	19,86	<0,001
Cimento	86,70	2	43,35	667,01	<0,001
Tratamento de superfície x Cimento	8,13	14	0,58	8,94	<0,001
Resíduo	14,04	216	0,07		
Variação total	117,90	239			

Na Tabela 4, baseada nos dados originais, estão apresentadas as médias, desvios-padrão (\pm) e os grupamentos estatísticos da RC, apontados pelo teste de Tukey.

Tabela 4 - Médias (MPa), desvios-padrão (\pm) e grupamentos estatísticos da RC

		Cimentos		
		RelyX Luting 2	RelyX ARC	RelyX U100
Tratamentos de superfície	Al ₂ O ₃ 50 μ m	6,31 \pm 1,30 Bb	4,10 \pm 0,79 Cc	12,39 \pm 2,16 Ab
	Al ₂ O ₃ 120 μ m	7,12 \pm 0,94 Ba	5,42 \pm 0,78 Bb	16,71 \pm 2,90 Aa
	Al ₂ O ₃ 250 μ m	6,94 \pm 1,45 Ba	5,74 \pm 1,11 Bb	13,76 \pm 2,03 Aa
	Al ₂ O ₃ 50 μ m + silano	8,30 \pm 0,96 Ba	4,34 \pm 0,71 Cc	15,80 \pm 3,25 Aa
	Al ₂ O ₃ 120 μ m + silano	8,58 \pm 0,74 Ba	5,51 \pm 0,96 Cb	15,35 \pm 1,75 Aa
	Al ₂ O ₃ 250 μ m + silano	7,94 \pm 0,87 Ba	6,64 \pm 1,36 Bb	14,89 \pm 1,87 Aa
	Cojet Sand + silano	7,61 \pm 1,13 Ba	5,70 \pm 0,93 Bb	14,89 \pm 2,80 Aa
	Rocatec + silano	8,52 \pm 0,47 Ca	11,84 \pm 1,75 Ba	15,38 \pm 3,00 Aa

letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa nas colunas ($P < 0,05$)

letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa nas linhas ($P < 0,05$)

Na comparação entre os tratamentos de superfície, pôde-se observar que os cimentos RelyX Luting 2 e RelyX U100 apresentaram comportamento semelhante com relação a este fator de variação. De uma forma geral, diferentemente do cimento RelyX ARC ($P < 0,001$), o tratamento de superfície não influenciou a RC apresentada pelos cimentos RelyX Luting 2 e RelyX U100. Para estes cimentos, apenas o grupo jateado com partículas de Al₂O₃ de 50 μ m promoveu menor RC em relação aos demais grupos, os quais foram estatisticamente iguais entre si ($P > 0,05$).

No cimento RelyX ARC, independentemente da aplicação do silano, o jateamento com partículas de Al₂O₃ de 50 μ m promoveu RC significativamente menor em comparação às partículas de 120 e 250 μ m, as quais apresentaram igualdade estatística entre si ($P > 0,05$). O jateamento com Rocatec seguido da aplicação de silano promoveu o maior valor de RC.

Na comparação entre os cimentos, o RelyX U100 apresentou os maiores valores de RC ($P < 0,001$), independentemente dos tratamentos de superfície utilizados. Em geral, o cimento RelyX Luting 2 mostrou valores de RC estatisticamente iguais ou maiores em relação ao RelyX ARC, exceto para o jateamento com Rocatec seguido da aplicação de silano.

Finalmente, ao se comparar as 24 combinações entre tratamento de superfície e cimento, pode-se observar no Gráfico 1 uma concentração de maiores valores de RC para o RelyX U100 (região direita do gráfico), uma outra de menores valores de RC para o RelyX ARC (região esquerda do gráfico) e um posicionamento central no gráfico de valores de RC intermediários para o RelyX Luting 2. Esta diferenciação não foi tão evidente quando consideramos apenas os tratamentos de superfície.

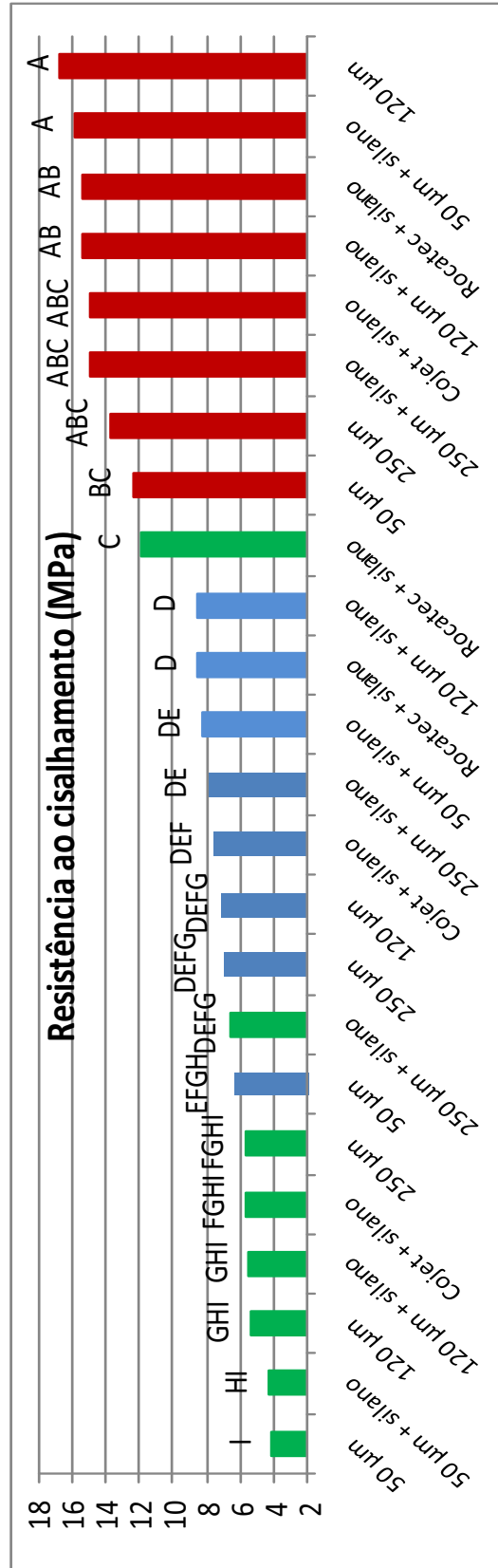


GRÁFICO 1 - Médias (MPa) da RC.

■ RelyX Luting 2
■ RelyX ARC
■ RelyX U100

Análise da fratura

As Tabelas 5 e 6 mostram, respectivamente, os modos de fratura predominantes para cada um dos tratamentos de superfície de acordo com os cimentos estudados e para cada um dos cimentos de uma forma geral. A Figura 7 ilustra a imagem dos três modos de fratura possíveis de serem observados neste estudo.

Tabela 5 - Percentual dos modos de fratura dos cimentos estudados para os diferentes tratamentos de superfície

	RelyX Luting 2			RelyX ARC			RelyX U100		
	A	C	M	A	C	M	A	C	M
Al ₂ O ₃ 50 µm	60	30	10	100	-	-	93	-	7
Al ₂ O ₃ 120 µm	70	10	20	100	-	-	93	7	-
Al ₂ O ₃ 250 µm	67	22	11	100	-	-	100	-	-
Al ₂ O ₃ 50 µm + silano	70	10	20	100	-	-	87	-	13
Al ₂ O ₃ 120 µm + silano	80	-	20	100	-	-	93	7	-
Al ₂ O ₃ 250 µm + silano	90	10	-	100	-	-	80	20	-
Cojet Sand + silano	50	29	21	100	-	-	100	-	-
Rocatec + silano	80	20	-	100	-	-	90	10	-

A = Adesiva, C = Coesiva, M = Mista

Tabela 6 - Percentual dos modos de fratura dos cimentos estudados

	Adesiva	Coesiva	Mista
RelyX Luting 2	70	17	13
RelyX ARC	100	-	-
RelyX U100	92	5	3

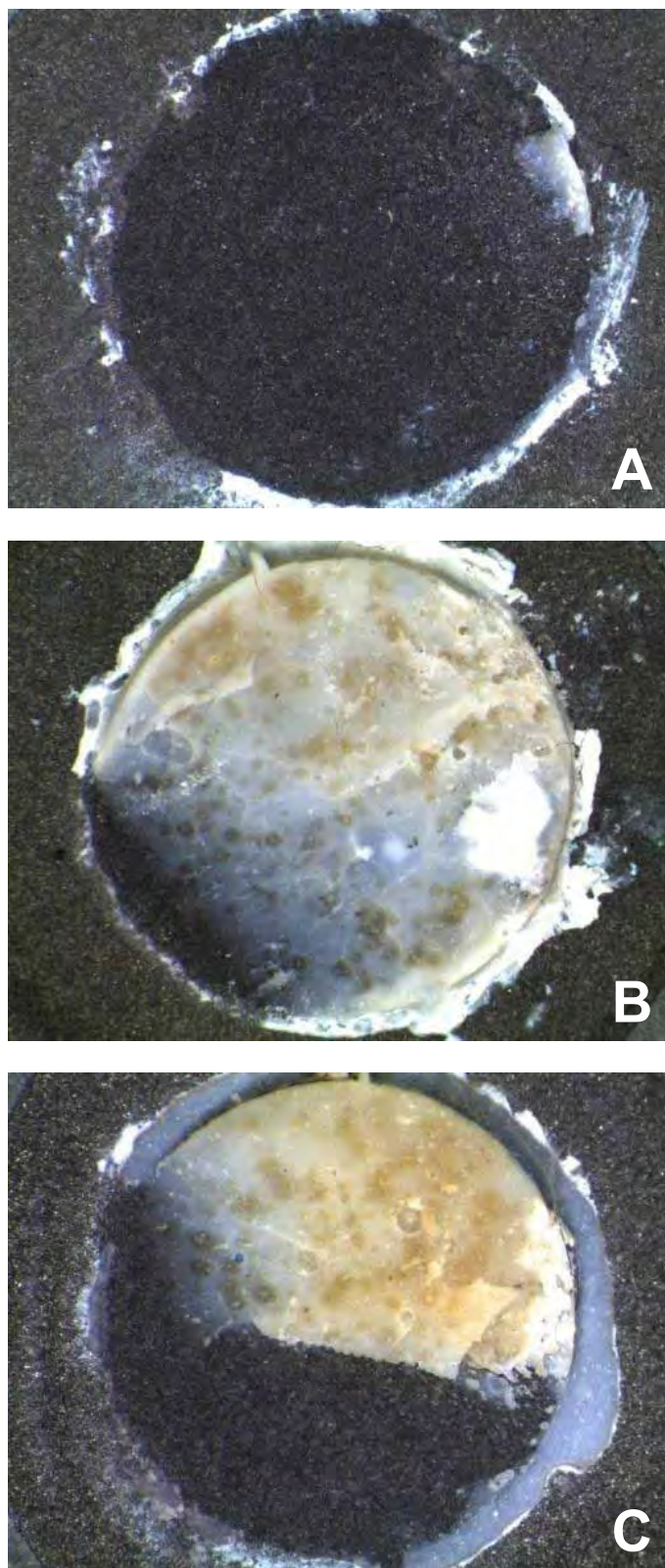


FIGURA 7 - A - Fratura Adesiva, B - Fratura Coesiva, C - Fratura Mista.

Discussão

6 DISCUSSÃO

No presente estudo, foi avaliada a eficácia de tratamentos de superfície alternativos às indicações do fabricante dos cimentos avaliados, buscando-se aprimorar a união destes materiais ao titânio. De acordo com as recomendações do fabricante, para a cimentação de restaurações metalocerâmicas, deve-se realizar previamente na superfície metálica apenas o jateamento com partículas de Al_2O_3 (RelyX Luting 2 e RelyX U100) ou esse mesmo pré-tratamento seguido da aplicação de silano (RelyX ARC). Entretanto, como já foi comentado na seção Introdução, existem diversos tratamentos de superfície que, empregados isoladamente ou em associação, podem promover uma união na interface metal/cimento mais eficaz do que os respectivos protocolos.

Com o objetivo de investigar o efeito de diferentes tratamentos de superfície na resistência ao cisalhamento (RC) da união do cimento ionomérico RelyX Luting 2 e dos cimentos resinosos RelyX ARC e RelyX U100 ao Ti cp, empregou-se, no presente estudo, o jateamento com partículas de Al_2O_3 convencionais de 50, 120 e 250 μm , também esse mesmo tratamento seguido da aplicação de silano e, finalmente, os sistemas Cojet Sand (30 μm) e Rocatec (110 μm), constituídos por partículas de Al_2O_3 modificadas por sílica, associados ao silano, conforme recomendação do fabricante. Assim, foram avaliados tratamentos de superfície promotores apenas de retenção mecânica como também promotores de retenção e adesão.

Na comparação entre os tratamentos de superfície, pôde-se observar que os cimentos RelyX Luting 2 e RelyX U100 apresentaram

comportamento semelhante com relação a este fator de variação. De uma forma geral, diferentemente do cimento RelyX ARC ($P < 0,001$), o tratamento de superfície não influenciou a RC apresentada pelos cimentos RelyX Luting 2 e RelyX U100. Para estes cimentos, apenas o grupo jateado com partículas de Al_2O_3 de 50 μm promoveu menor RC em relação aos demais grupos, os quais foram estatisticamente iguais entre si ($P > 0,05$).

Ambos os cimentos possuem ácidos em sua composição. O RelyX Luting 2 contém ácido policarboxílico o qual pode estabelecer ligações químicas com a camada de óxidos da superfície do titânio⁷. Da mesma forma que o RelyX Luting 2, o cimento RelyX U100 possui grupamentos de ácido fosfórico em sua fase resinosa capazes de reagir quimicamente com diferentes óxidos presentes na substrato metálico⁷. De acordo com o tratamento de superfície empregado, diferentes composições do substrato podem ser obtidas. Nos grupos apenas jateados, existe uma reação química entre o cimento (ácidos policarboxílico ou fosfórico) e a alumina depositada na superfície do titânio^{7,24}. Nos grupos silanizados, ocorrem duas reações químicas adicionais que são: 1) entre o silano (porção silicofuncional) e alumina^{19,36} ou sílica^{10,22} e 2) entre monômeros resinosos do cimento e silano (porção organofuncional)^{14,20-22}. Os silanos são moléculas bifuncionais que possuem a capacidade de se unir tanto à matriz orgânica dos cimentos que contêm monômeros resinosos quanto a um substrato inorgânico, como os óxidos da superfície metálica, formando ligações covalentes^{19-20,22}. Sua fórmula geral é $R-Y-SiX_3$, onde R é um radical orgânico não hidrolisável que apresenta dupla ligação de carbonos e pode se polimerizar com os monômeros resinosos dos cimentos, Y é um conector e Xs são grupos alcoxi hidrolisáveis que irão reagir com os radicais hidroxilas (OH-) inorgânicos

presentes na superfície metálica^{19,20}. No presente estudo, apesar das possibilidades de reações com o silano apresentadas anteriormente, a igualdade estatística observada entre os tratamentos indica que a capacidade adesiva de ambos os cimentos foi decisiva na determinação da RC, fato este que justifica o comportamento semelhante apresentado pelo RelyX Luting 2 e RelyX U100. Desta forma, observou-se que a capacidade adesiva destes cimentos promoveu união química, dispensando o emprego de silano, mas não a criação de retenção micromecânica pelo jateamento.

Tanto no RelyX Luting 2 quanto no RelyX U100, nos grupos apenas jateados, as partículas de Al_2O_3 menores (50 μm) promoveram menor RC do que as partículas maiores (120 e 250 μm). Este resultado está de acordo com o estudo de Watanabe et al.⁴². Quando o silano foi empregado, não houve diferença significativa entre o grupo jateado com partículas de Al_2O_3 de 50 μm e os jateados com 120 e 250 μm . Provavelmente, a menor rugosidade superficial e, conseqüentemente, a menor retenção micromecânica promovida pelas partículas de Al_2O_3 de 50 μm ^{28,42} foram beneficiadas pelo papel mecânico do silano¹⁹, que favoreceu o molhamento do titânio pelo RelyX Luting 2 e RelyX U100.

No cimento RelyX ARC, independentemente da aplicação do silano, o jateamento com partículas de Al_2O_3 de 50 μm promoveu RC significativamente menor em comparação às partículas de 120 e 250 μm , as quais apresentaram igualdade estatística entre si ($P > 0,05$). Estes resultados corroboram os achados de Watanabe et al.⁴², que observaram maior rugosidade quando a superfície do titânio cp foi jateada com partículas de Al_2O_3 de 250 μm em comparação às de 50 μm , o que favoreceria a retenção micromecânica e,

consequentemente, a resistência de união. Papadopoulos et al.²⁸, embora não tenham avaliado a resistência de união propriamente dita entre material resinoso/titânio, verificaram que a morfologia da superfície metálica mostrou-se mais rugosa quando jateada com maior tamanho de partícula de Al_2O_3 .

Ainda para o RelyX ARC, o emprego do silano não aumentou a RC, independentemente do tamanho da partícula de Al_2O_3 . Este comportamento não é esperado, uma vez que, nos grupos não silanizados existe apenas retenção micromecânica entre o cimento e o substrato metálico. Por outro lado, os grupos jateados com partícula de Al_2O_3 e tratados com silano deveriam ser beneficiados tanto pelo papel mecânico quanto pelo papel químico do silano. O primeiro está relacionado ao aumento do molhamento do titânio pelo RelyX ARC. Matinlinna, Vallittu¹⁹ comentam que a evaporação dos solventes voláteis presentes na composição do silano, após sua aplicação, faz com que os grupamentos silanóis ($\equiv Si-OH$) reativos se condensem e depositem, formando uma película (siloxano) com uma espessura característica de aproximadamente 10-50 nm na superfície do substrato, propiciando um maior contato entre o substrato inorgânico silanizado (titânio) e a matriz orgânica polimérica (cimento). Segundo os autores¹⁹, o papel do silano é propiciar um adequado molhamento superficial do substrato metálico, favorecendo uma retenção mecânica adicional. O papel químico do silano é o de estabelecer reações entre sua porção silicofuncional e a alumina^{19,36} e entre sua porção organofuncional e os monômeros resinosos do cimento¹⁹⁻²². No entanto, no presente estudo, nem o papel mecânico nem o papel químico do silano foi observado. A retenção micromecânica resultante do jateamento com as partículas de Al_2O_3 foi o fator determinante da RC nesses grupos.

Na comparação entre ambos os sistemas triboquímicos, observou-se que o Rocatec promoveu RC significativamente maior que o Cojet Sand. Embora reações químicas entre silano/sílica e silano/cimento devam ter ocorrido, em ambos os grupos, o tamanho da partícula foi o fator diferencial. Almeida-Júnior et al.² também observaram maior RC do sistema Rocatec em relação ao Cojet Sand ao empregarem o cimento RelyX ARC em titânio. Esses autores² comentam que a superioridade do Rocatec sobre o Cojet Sand pode ser justificada pelo maior tamanho de partícula do Rocatec (110 µm), fator este que poderia ser favorável à promoção de maior rugosidade superficial²⁸, resultando em maior retenção mecânica e, conseqüentemente, em maior RC⁴².

Apesar de o fabricante indicar o Rocatec apenas para uso laboratorial, nada impede de este produto ser utilizado em consultório para jateamento de restaurações metalocerâmicas antes da cimentação e intra-oralmente para a realização de reparos dessas restaurações. Independentemente do tamanho da partícula empregada no jateamento, se é de 30 µm como as do Cojet Sand ou de 110 µm como as do Rocatec, quando realizado intra-oralmente, deve-se tomar as devidas precauções para não causar danos ao paciente.

O melhor tratamento de superfície para o RelyX ARC foi o jateamento com Rocatec seguido da aplicação de silano. Este sistema, além de possuir partículas de tamanho favorável à união mecânica, como já comentado anteriormente, promove a deposição de uma reativa camada de sílica no substrato pelo jateamento^{4,15-16} que provavelmente irá reagir com o silano (porção silicofuncional). De acordo com Matinlinna, Vallittu¹⁹, as ligações entre silano e sílica ($\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$) são mais fortes e hidroliticamente estáveis do que

aquelas resultantes da reação entre silano e alumina ($\equiv\text{Al-O-Si}\equiv$). Portanto, esta superioridade pode ser resultante do fato de este sistema apresentar características favoráveis tanto do ponto de vista mecânico quanto químico.

Em contrapartida, apesar de o Cojet Sand também estar baseado na deposição de sílica^{5,43}, este sistema apresentou igualdade estatística quando comparado com os grupos jateados com partículas de Al_2O_3 de 120 e 250 μm seguidos ou não da aplicação do silano. Provavelmente, este resultado pode estar relacionado a uma compensação entre a maior rugosidade promovida por partículas de Al_2O_3 maiores e a ocorrência da reação química do silano com a sílica depositada pelo Cojet Sand.

Outro dado que merece ser destacado é o melhor comportamento apresentado pelo cimento RelyX U100. Em geral, o cimento RelyX Luting 2 mostrou valores de RC estatisticamente iguais ou maiores em relação ao RelyX ARC, exceto para o jateamento com Rocatec seguido da aplicação de silano.

As porcentagens de fratura adesiva e coesiva dos cimentos foram respectivamente: RelyX U100 (92% e 5%), RelyX Luting 2 (70% e 17%) e RelyX ARC (100% e 0%). Apesar de os três cimentos terem apresentado predominância de falha adesiva, o RelyX U100 promoveu os maiores valores de RC em todos os tratamentos de superfície. Este fato indica a maior capacidade adesiva do RelyX U100 em relação aos demais cimentos. Como já abordado anteriormente, o RelyX U100 possui monômeros metacrilatos fosfatados os quais parecem ser eficazes na promoção de adesão em superfícies com diferentes óxidos presentes no substrato metálico^{1,7}. Esta capacidade adesiva foi observada, no presente estudo, independentemente do tratamento de superfície.

Um outro fator que pode ter contribuído para o melhor comportamento do RelyX U100 é a resistência mecânica. Estudos^{26,30,35} observaram superioridade do RelyX Unicem em relação aos cimentos ionoméricos modificados por resina. No presente estudo, este fato pode ser constatado pela menor predominância de fratura coesiva no RelyX U100 em comparação ao RelyX Luting 2. De acordo com o fabricante do RelyX U100, as ligações duplas de carbono resultam em alto grau de ligações cruzadas entre os monômeros metacrilatos do cimento, conferindo elevada resistência mecânica.

Apesar de alguns estudos^{30,35} indicarem que o RelyX ARC possui resistência mecânica igual ou maior que o RelyX Unicem, que possui composição semelhante ao RelyX U100, no presente estudo, este último cimento apresentou RC significativamente maior que o primeiro. Este fato indica a maior influência da capacidade adesiva sobre a resistência mecânica na determinação da RC. Diferentemente do RelyX U100, o RelyX ARC possui em sua composição os monômeros Bis-GMA (bisfenol-A-glicidil metacrilato) e TEGDMA (triétileno glicol dimetacrilato), além de partículas de zircônia e sílica. Entretanto, este cimento não possui monômeros ácidos capazes de estabelecer união química com o substrato metálico, fato este que poderia justificar seus menores valores de RC em relação ao RelyX Luting 2, em alguns grupos.

Em contrapartida, alguns estudos^{3,26,35} verificaram que o RelyX ARC apresentou maior resistência mecânica que os cimentos ionoméricos modificados por resina. É possível que nos grupos nos quais foi observada igualdade estatística entre ambos os cimentos tenha havido um equilíbrio entre capacidade adesiva e resistência mecânica.

De acordo com os parâmetros da norma ISO 10477¹³, o valor de resistência ao cisalhamento da união material resinoso/substrato deveria ser no mínimo 5 MPa. Entretanto, Matsumura et al.²³ sugerem que a resistência ao cisalhamento da união material resinoso/metálica necessária para se alcançar resultados clínicos satisfatórios deveria ser superior a 10 MPa. No presente estudo, este valor foi observado em todos os grupos do cimento RelyX U100 e no grupo tratado com Rocatec + silano do RelyX ARC.

Este estudo identificou a superioridade de algumas combinações (tratamentos de superfície e cimentos) sobre outras. No entanto, estudos adicionais que investiguem propriedades físicas e mecânicas dos cimentos avaliados e que investiguem a composição e a morfologia das superfícies tratadas deveriam ser conduzidos para um melhor entendimento das interações mecânicas e químicas entre materiais resinosos e o substrato metálico após diferentes tratamentos de superfície.

Conclusão

7 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nas condições experimentais deste estudo, pôde-se concluir que:

1. nos cimentos RelyX Luting 2 e RelyX U100, a capacidade adesiva foi o fator determinante da RC, enquanto no RelyX ARC, tanto a condição mecânica (tamanho de partícula) quanto a química (reação silano/sílica) influenciaram a RC;
2. o cimento RelyX U100 promoveu os melhores resultados de RC, independentemente do tratamento de superfície empregado;
3. dentre os grupos do RelyX ARC, o jateamento com Rocatec seguido da aplicação do silano foi o tratamento de superfície alternativo que promoveu maior RC em relação ao protocolo do fabricante. Para os cimentos RelyX Luting 2 e RelyX U100, com exceção do grupo jateado com partículas de Al_2O_3 de 50 μm , todos os tratamentos de superfície mostraram valores de RC significativamente semelhantes entre si.

Referências

8 REFERÊNCIAS*

1. Abreu A, Loza MA, Elias A, Mukhopadhyay S, Rueggeberg FA. Effect of metal type and surface treatment on in vitro tensile strength of copings cemented to minimally retentive preparations. *J Prosthet Dent.* 2007; 98: 199-207.
2. Almeida-Júnior AA, Fonseca RG, Haneda IG, Abi-Rached FO, Adabo GL. Effect of surface treatments on the bond strength of a resin cement to commercially pure titanium. *Braz Dent J.* 2010; 21: 111-6.
3. Attar N, Tam LE, McComb D. Mechanical and physical properties of contemporary dental luting agents. *J Prosthet Dent.* 2003; 89: 127-34.
4. Bertolotti RL. Adhesion to porcelain and metal. *Dent Clin North Am.* 2007; 51: 433-51.
5. Cobb DS, Vargas MA, Fridrich TA, Bouschlicher MR. Metal surface treatment: characterization and effect on composite-to-metal bond strength. *Oper Dent.* 2000; 25: 427-33.
6. Diaz-Arnold AM, Vargas MA, Haselton DR. Current status of luting agents for fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent.* 1999; 81: 135-41.
7. Fawzy AS, El-Askary FS. Effect acidic and alkaline/heat treatments on the bond strength of different luting cements to commercially pure titanium. *J Dent.* 2009; 37: 255-63.
8. Fonseca RG, Almeida JGSP, Haneda IG, Adabo GL. Effect of metal primers on bond strength of resin cements to base metals. *J Prosthet Dent.* 2009; 101: 262-8.

*De acordo com o estilo Vancouver. Disponível em: http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html

9. Gerdolle DA, Mortier E, Jacquot B, Panighi MM. Water sorption and water solubility of current luting cements: an in vitro study. *Quintessence Int.* 2008; 39: e107-14.
10. Hansson O, Moberg LE. Evaluation of three silicoating methods for resin-bonded prostheses. *Scand J Dent Res.* 1993; 101: 243-51.
11. Hibino Y, Kuramochi K, Hoshino T, Moriyama A, Watanabe Y, Nakajima H. Relationship between the strength of glass ionomers and their adhesive strength to metals. *Dent Mater.* 2002; 18: 552-7.
12. Imbery TA, Eshelman EG. Resin-bonded fixed partial dentures: a review of three decades of progress. *J Am Dent Assoc.* 1996; 127: 1751-60.
13. International Organization for Standardization. ISO 10477: Dentistry – Polymer-based crown and bridge materials. Switzerland: ISO; 2004.
14. Kamada K, Taira Y, Yoshida K, Atsuta M. Effect of four silane coupling agents on bonding of two resin-modified glass ionomer cements to machinable ceramic. *Dent Mater J.* 2007; 26: 240-4.
15. Kern M, Thompson VP. Sandblasting and silica-coating of dental alloys: volume loss, morphology and changes in the surface composition. *Dent Mater.* 1993; 9: 151-61.
16. Kern M, Thompson VP. Effects of sandblasting and silica-coating procedures on pure titanium. *J Dent.* 1994; 22: 300-6.
17. Larson TD. The uses of silane and surface treatment in bonding. *Northwest Dent.* 2006; 85: 27-30.
18. Lautenschlager EP, Monaghan P. Titanium and titanium alloys as dental materials. *Int Dent J.* 1993; 43: 245-53.

19. Matinlinna JP, Vallittu PK. Silane based concepts on bonding resin composite to metals. *J Contemp Dent Pract.* 2007; 8: 1-8.
20. Matinlinna JP, Lassila LVJ, Vallittu PK. Evaluation of five dental silanes on bonding a luting cement onto silica-coated titanium. *J Dent.* 2006; 34: 721-6.
21. Matinlinna JP, Lassila LVJ, Vallittu PK. The effect of five silane coupling agents on the bond strength of a luting cement to a silica-coated titanium. *Dent Mater.* 2007; 23: 1173-80.
22. Matinlinna JP, Lassila LVJ, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *Int J Prosthodont.* 2004; 17: 155-64.
23. Matsumura H, Yanagida H, Tanoue N, Atsuta M, Shimoe S. Shear bond strength of resin composite material to gold alloy with varying metal surface preparations. *J Prosthet Dent.* 2001; 86: 315-9.
24. McLean JW, Wilson AD. The clinical development of the glass-ionomer cements. I. Formulations and properties. *Aust Dent J.* 1977; 22: 31-6.
25. Mukai M, Fukui H, Hasegawa J. Relationship between sandblasting and composite resin-alloy bond strength by a silica coating. *J Prosthet Dent.* 1995; 74: 151-5.
26. Nakamura T, Wakabayashi K, Kinuta S, Nishida H, Miyamae M, Yatani H. Mechanical properties of new self-adhesive resin-based cement. *J Prosthodont Res.* 2010; 54: 59-64.
27. Ozcan M, Pfeiffer P, Nergiz I. A brief history and current status of metal-and ceramic surface-conditioning concepts for resin bonding in dentistry. *Quintessence Int.* 1998; 29: 713-24.

28. Papadopoulos T, Tsetsekou A, Eliades G. Effect of aluminium oxide sandblasting on cast commercially pure titanium surfaces. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 1999; 7: 15-21.
29. Petridis H, Garefis P, Hirayama H, Kafantaris NM, Koidis PT. Bonding indirect resin composites to metal: part 2. Effect of alloy surface treatment on elemental composition of alloy and bond strength. *Int J Prosthodont*. 2004; 17: 77-82.
30. Piwowarczyk A, Lauer HC. Mechanical properties of luting cements after water storage. *Oper Dent*. 2003; 28: 535-42.
31. Rocha SS, Adabo GL, Spinola SG, Fonseca RG, Ferreira AR. Effect of metal conditioners on the adhesive bonding of resin cements to cast titanium. *Quintessence Int*. 2007; 38: e506-10.
32. Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ. Dental luting agents: A review of the current literature. *J Prosthet Dent*. 1998; 80: 280-301.
33. Santos JG, Fonseca RG, Adabo GL, Cruz CAS. Shear bond strength of metal-ceramic repair systems. *J Prosthet Dent* 2006; 96: 165-73.
34. Sarafianou A, Seimenis I, Papadopoulos T. Effectiveness of different adhesive primers on the bond strength between an indirect composite resin and a base metal alloy. *J Prosthet Dent*. 2008; 99: 377-87.
35. Saskalauskaite E, Tam LE, McComb D. Flexural strength, elastic modulus, and pH profile of self-etch resin luting cements. *J Prosthodont*. 2008; 17: 262-8.
36. Schneider R, Goes MF, Henriques GEP, Chan DCN. Tensile bond strength of dual curing resin-based cements to commercially pure titanium. *Dent Mater*. 2007; 23: 81-7.

37. Taira Y, Yoshida K, Matsumura H, Atsuta M. Phosphate and thiophosphate primers for bonding prosthodontic luting materials to titanium. *J Prosthet Dent.* 1998; 79: 384-8.
38. Taira Y, Matsumura H, Yoshida K, Tanaka T, Atsuta M. Influence of surface oxidation of titanium on adhesion. *J Dent.* 1998; 26: 69-73.
39. Tsuchimoto Y, Yoshida Y, Mine A, Nakamura M, Nishiyama N, Van Meerbeek B et al. Effect of 4-MET- and 10-MDP-based primers on resin bonding to titanium. *Dent Mater J.* 2006; 25: 120-4.
40. Tsuchimoto Y, Yoshida Y, Takeuchi M, Mine A, Yatani H, Tagawa Y et al. Effect of surface pre-treatment on durability of resin-based cements bonded to titanium. *Dent Mater.* 2006; 22: 545-52.
41. Wang RR, Fenton A. Titanium for prosthodontic applications: A review of the literature. *Quintessence Int.* 1996; 27: 401-8.
42. Watanabe I, Kurtz KS, Kabcenell JL, Okabe T. Effect of sandblasting and silicoating on bond strength of polymer-glass composite to cast titanium. *J Prosthet Dent.* 1999; 82: 462-7.
43. Watanabe T, Ino S, Okada S, Katsumata Y, Hamano N, Hojo S et al. Influence of simplified silica coating method on the bonding strength of resin cement to dental alloy. *Dent Mater J.* 2008; 27: 16-20.
44. Yoshida K, Tanagawa M, Atsuta M. In vitro solubility of three types of resin and conventional luting cements. *J Oral Rehabil.* 1998; 25: 285-91.

Apêndice

APÊNDICE

Tabela 1A - Valores originais, médias, desvios-padrão (DP) e coeficientes de variação (CV) da RC (MPa) entre RelyX Luting 2 e titânio cp

	Al ₂ O ₃ 50 µm	Al ₂ O ₃ 120 µm	Al ₂ O ₃ 250 µm	Al ₂ O ₃ 50 µm + silano	Al ₂ O ₃ 120 µm + silano	Al ₂ O ₃ 250 µm + silano	Cojet Sand + silano	Al ₂ O ₃ 120 µm + Rocatec + silano
1	3,06	6,03	4,28	6,20	7,41	6,57	4,84	7,92
2	5,28	6,43	5,52	7,05	7,79	6,99	7,08	7,95
3	6,33	6,44	5,72	8,13	7,83	7,28	7,37	8,16
4	6,40	6,45	6,54	8,45	8,31	7,66	7,60	8,28
5	6,43	6,68	6,98	8,56	8,52	7,95	7,62	8,41
6	6,61	7,16	7,33	8,61	8,73	8,12	7,78	8,51
7	7,10	7,17	7,42	8,73	9,14	8,24	7,92	8,72
8	7,14	7,55	8,14	8,76	9,16	8,40	8,28	8,78
9	7,34	8,29	8,54	9,12	9,35	8,60	8,73	9,21
10	7,36	9,03	8,88	9,35	9,60	9,59	8,88	9,27
Média	6,31	7,12	6,94	8,30	8,58	7,94	7,61	8,52
DP	1,30	0,94	1,45	0,96	0,74	0,87	1,13	0,47
CV	20,62%	13,22%	20,89%	11,62%	8,63%	10,94%	14,82%	5,57%

Tabela 1B - Valores originais, médias, desvios-padrão (DP) e coeficientes de variação (CV) da RC (MPa) entre RelyX ARC e titânio cp

	Al ₂ O ₃ 50 µm	Al ₂ O ₃ 120 µm	Al ₂ O ₃ 250 µm	Al ₂ O ₃ 50 µm + silano	Al ₂ O ₃ 120 µm + silano	Al ₂ O ₃ 250 µm + silano	Cojet Sand + silano	Al ₂ O ₃ 120 µm + Rocatec + silano
1	3,10	3,86	3,85	3,37	4,17	4,43	3,59	7,84
2	3,28	4,97	4,53	3,71	4,64	4,94	5,03	10,49
3	3,70	5,13	4,76	3,84	4,69	5,53	5,30	11,15
4	3,75	5,14	5,16	4,03	5,18	6,42	5,35	12,21
5	3,88	5,21	5,94	4,29	5,22	6,59	5,80	12,25
6	4,01	5,49	6,23	4,30	5,42	6,80	6,06	12,28
7	4,11	5,55	6,41	4,57	5,54	7,27	6,08	12,30
8	4,43	5,83	6,58	4,61	6,34	7,66	6,48	12,59
9	4,90	6,29	6,69	4,73	6,94	8,24	6,57	12,75
10	5,79	6,71	7,28	5,93	6,97	8,53	6,70	14,54
Média	4,10	5,42	5,74	4,34	5,51	6,64	5,70	11,84
DP	0,79	0,78	1,11	0,71	0,96	1,36	0,93	1,75
CV	19,29%	14,37%	19,29%	16,29%	17,42%	20,48%	16,38%	14,81%

Tabela 1C - Valores originais, médias, desvios-padrão (DP) e coeficientes de variação (CV) da RC (MPa) entre RelyX U100 e titânio cp

	Al ₂ O ₃ 50 µm	Al ₂ O ₃ 120 µm	Al ₂ O ₃ 250 µm	Al ₂ O ₃ 50 µm + silano	Al ₂ O ₃ 120 µm + silano	Al ₂ O ₃ 250 µm + silano	Cojet Sand + silano	Al ₂ O ₃ 120 µm + Rocatec + silano
1	9,33	11,93	10,22	9,90	12,37	10,82	11,23	12,27
2	9,82	14,21	12,14	10,65	12,88	13,07	11,55	12,81
3	9,84	14,87	12,58	15,49	14,89	13,86	13,09	12,97
4	12,18	15,42	13,16	15,78	15,02	14,81	13,30	13,53
5	12,49	16,39	13,56	15,95	15,18	15,38	13,54	14,22
6	12,67	17,12	13,73	17,01	15,41	15,56	15,36	14,37
7	13,60	17,26	14,41	17,18	16,00	15,87	15,71	16,56
8	13,70	18,58	14,70	17,35	16,31	16,00	17,54	16,66
9	14,36	18,83	15,27	18,22	17,64	16,25	18,19	18,96
10	15,89	22,45	17,81	20,50	17,75	17,31	19,34	21,49
Média	12,39	16,71	13,76	15,80	15,35	14,89	14,89	15,38
DP	2,16	2,90	2,03	3,25	1,75	1,87	2,80	3,00
CV	17,42%	17,36%	14,73%	20,58%	11,43%	12,57%	18,84%	19,51%

Tabela 2A - Valores transformados e médias da RC (MPa) entre RelyX Luting 2 e titânio cp

	Al ₂ O ₃ 50 µm	Al ₂ O ₃ 120 µm	Al ₂ O ₃ 250 µm	Al ₂ O ₃ 50 µm + silano	Al ₂ O ₃ 120 µm + silano	Al ₂ O ₃ 250 µm + silano	Cojet Sand + silano	Al ₂ O ₃ 120 µm + Rocatec + silano
1	1,749286	2,455606	2,068816	2,489980	2,722132	2,563201	2,200000	2,814249
2	2,297825	2,535744	2,349468	2,655184	2,791057	2,643861	2,660827	2,819574
3	2,515949	2,537716	2,391652	2,851315	2,798214	2,698148	2,714774	2,856571
4	2,529822	2,539685	2,557342	2,906888	2,882707	2,767671	2,756810	2,877499
5	2,535744	2,584570	2,641969	2,925748	2,918904	2,819574	2,760435	2,900000
6	2,570992	2,675818	2,707397	2,934280	2,954657	2,849561	2,789265	2,917190
7	2,664583	2,677686	2,723968	2,954657	3,023243	2,870540	2,814249	2,952965
8	2,672078	2,747726	2,853069	2,959730	3,026549	2,898275	2,877499	2,963106
9	2,709243	2,879236	2,922328	3,019934	3,057777	2,932576	2,954657	3,034798
10	2,712932	3,004996	2,979933	3,057777	3,098387	3,096773	2,979933	3,044667
Média	2,495845	2,663878	2,619594	2,875549	2,927363	2,814018	2,750845	2,918062

Tabela 2B - Valores transformados e médias da RC (MPa) entre RelyX ARC e titânio cp

	Al ₂ O ₃ 50 µm	Al ₂ O ₃ 120 µm	Al ₂ O ₃ 250 µm	Al ₂ O ₃ 50 µm + silano	Al ₂ O ₃ 120 µm + silano	Al ₂ O ₃ 250 µm + silano	Cojet Sand + silano	Al ₂ O ₃ 120 µm + Rocatec + silano
1	1,760682	1,964688	1,962142	1,835756	2,042058	2,104757	1,894730	2,800000
2	1,811077	2,229350	2,128380	1,926136	2,154066	2,222611	2,242766	3,238827
3	1,923538	2,264950	2,181742	1,959592	2,165641	2,351595	2,302173	3,339162
4	1,936492	2,267157	2,271563	2,007486	2,275961	2,533772	2,313007	3,494281
5	1,969772	2,282542	2,437212	2,071232	2,284732	2,567100	2,408319	3,500000
6	2,002498	2,343075	2,495997	2,073644	2,328089	2,607681	2,461707	3,504283
7	2,027313	2,355844	2,531798	2,137756	2,353720	2,696294	2,465766	3,507136
8	2,104757	2,414539	2,565151	2,147091	2,517936	2,767671	2,545584	3,548239
9	2,213594	2,507987	2,586503	2,174856	2,634388	2,870540	2,563201	3,570714
10	2,406242	2,590367	2,698148	2,435159	2,640076	2,920616	2,588436	3,813135
Média	2,015597	2,322050	2,385864	2,076871	2,339667	2,564264	2,378569	3,431578

Tabela 2C - Valores transformados e médias da RC (MPa) entre RelyX U100 e titânio cp

	Al ₂ O ₃ 50 µm	Al ₂ O ₃ 120 µm	Al ₂ O ₃ 250 µm	Al ₂ O ₃ 50 µm + silano	Al ₂ O ₃ 120 µm + silano	Al ₂ O ₃ 250 µm + silano	Al ₂ O ₃ 50 µm + 250 µm + silano	Cojet Sand + silano	Al ₂ O ₃ 120 µm + Rocatec + silano
1	3,054505	3,453983	3,196873	3,146427	3,517101	3,289377	3,511119	3,351119	3,502856
2	3,133688	3,769615	3,484250	3,263434	3,588872	3,615245	3,398529	3,398529	3,579106
3	3,136877	3,856164	3,546830	3,935734	3,858756	3,722902	3,618011	3,618011	3,601389
4	3,489986	3,926831	3,627671	3,972405	3,875564	3,848376	3,646917	3,646917	3,678315
5	3,534119	4,048456	3,682391	3,993745	3,896152	3,921734	3,679674	3,679674	3,770942
6	3,559494	4,137632	3,705401	4,124318	3,925557	3,944617	3,919184	3,919184	3,790778
7	3,687818	4,154516	3,796051	4,144876	4,000000	3,983717	3,963584	3,963584	4,069398
8	3,701351	4,310452	3,834058	4,165333	4,038564	4,000000	4,188078	4,188078	4,081666
9	3,789459	4,339355	3,907685	4,268489	4,200000	4,031129	4,264974	4,264974	4,354308
10	3,986226	4,738143	4,220190	4,527693	4,213075	4,160529	4,397727	4,397727	4,635731
Média	3,507352	4,073515	3,700140	3,954245	3,911364	3,851763	3,842780	3,842780	3,906449

**Autorizo a reprodução deste trabalho.
(Direitos de publicação reservados ao autor)**

Araraquara, 31 de março de 2011.

FILIPPE DE OLIVEIRA ABI RACHED