

GERALDO HENRIQUE LEÃO LOMBARDO

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE
DO METAL NA RESISTÊNCIA DE UNIÃO ENTRE
UMA LIGA DE COBALTO-CROMO E DUAS
CERÂMICAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE, pelo Programa de Pós-Graduação em ODONTOLOGIA RESTAURADORA, Especialidade em Prótese Dentária.

GERALDO HENRIQUE LEÃO LOMBARDO

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE
DO METAL NA RESISTÊNCIA DE UNIÃO ENTRE
UMA LIGA DE COBALTO-CROMO E DUAS
CERÂMICAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE, pelo Programa de Pós-Graduação em ODONTOLOGIA RESTAURADORA, Especialidade em Prótese Dentária.

Orientador Prof. Adj. Renato Sussumu Nishioka

São José dos Campos
2007

Apresentação gráfica e normalização de acordo com:

Bellini AB. Manual para elaboração de monografias: estrutura do trabalho científico. São José dos Campos: FOSJC/UNESP; 2006.

Lombardo, Geraldo Henrique Leão

Influência do tratamento de superfície na resistência de união entre uma liga de cobalto-cromo e duas cerâmicas, frente ao ensaio de cisalhamento / Geraldo Henrique Leão Lombardo; orientador Renato Sussumu Nishioka. __ São José dos Campos, 2007.

110 p.; IL

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Odontologia, área de Concentração em Odontologia Restauradora) – Faculdade de Odontologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista; 2007.

1. Ligas dentárias – 2. Cisalhamento – 3. Materiais dentários.

AUTORIZAÇÃO

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, desde que citada a fonte.

São José dos Campos, 29/ 05/ 2007.

Assinatura:

E-mail: geraldolombardo@hotmail.com

DEDICATÓRIA

À Deus, por ter me orientado e conduzido em mais uma etapa da minha vida. Obrigado Senhor por todos os momentos por mim vividos até hoje.

Ao meu pai (*in memoriam*) **José Geraldo Lombardo**, pelo exemplo de homem, professor e acima de tudo um pai companheiro, amigo, incentivador e dedicado aos filhos, responsável pela minha formação pessoal e profissional, com o qual aprendi a honestidade e a humildade. Minha eterna gratidão por tê-lo tido como pai.

A minha mãe, **Lígia de Souza Leão Lombardo**, pelo seu carinho, compreensão, afeto, dedicação em todos os momentos. Minha eterna gratidão pela minha formação pessoal e profissional, pois sem o seu apoio não seria possível completar mais essa fase da minha vida.

Aos meus irmãos **Lígia Cristina, Raquel e Carlos Eduardo**, só tenho que agradecer a Deus por vocês existirem na minha vida e pelo companheirismo e confiança em mim depositados.

A minha sobrinha **Laura**, que com sua inocência sempre me proporcionou momentos de alegria em cada retorno.

Ao meu amigo/irmão **Leonardo Buso**, companheiro e incentivador, com quem muito aprendi em todos esses anos de convivência. Obrigado pelo carinho, atenção, força e por suas orientações.

Aos meus grandes amigos **Paulo Silvestre e Ricardo Padovani**, companheiros inseparáveis, amigos dedicados, colaboradores e presentes na conquista de mais essa jornada. Obrigado pela paciência e apoio nos momentos em que mais precisei.

AGRADECIMENTOS

Ao **Prof. Adj. Renato Sussumu Nishioka**, meu orientador, mestre com quem muito aprendi durante esses anos de convivência. Obrigado pela credibilidade em mim depositada.

Ao **Prof. Adj. Marco Antônio Bottino**, grande incentivador e dedicado à pesquisa. Muito obrigado pelo carinho, pelos momentos de dificuldades, pelo apoio e compreensão durante esse período.

À Faculdade de Odontologia de São José dos Campos – UNESP, instituição que me acolheu durante esse período por meio do diretor **Prof. Adj. Paulo Villela Santos Júnior**.

Ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia Restauradora pela coordenação do **Prof. Dr. Clovis Pagani**. Obrigado pela oportunidade concedida.

Ao chefe do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, **Prof. Dr. Lafayette Nogueira Júnior**, pela oportunidade e amizade durante o curso de Pós Graduação.

A todos os Professores com os quais tive contato durante os créditos realizados, **Prof^a Dr^a Márcia Valera**, **Prof^a Dr^a Maria Amélia Máximo de Araújo**, **Prof. Dr. José Roberto Rodrigues (Zé Biscoito)**, **Prof. Dr. Fernando Eiji Takahashi**, **Prof. Dr. Estevão Tomomitsu Kimpara**, **Prof. Dr. Carlos Augusto Pavanelli**, **Prof. Dr. Fernando**

Uemura. Meus sinceros agradecimentos pela colaboração na minha formação acadêmica.

Ao **Prof. Ivan Balducci**, pelo auxílio e tempo a mim dedicado durante a execução das análises estatísticas de todos os trabalhos realizados.

À um grande amigo que me ajudou, auxiliou, incentivou e esteve presente em todos os momentos por mim vividos durante essa etapa, compartilhando alegrias, tristezas, derrotas e principalmente vitórias. **Rodrigo Othávio de Assunção e Souza**, obrigado por tudo o que aprendi com você, principalmente pela sua paciência, humildade e dedicação a mim demonstradas.

Aos amigos **Alberto Noriyuki Kojima, Alfredo Mikail Melo Mesquita e Anderson Castilho**, pela colaboração, incentivo, dedicação e cumplicidade formados durante nossa convivência. Obrigado por participarem e compartilharem momentos únicos durante essa jornada.

Às amigas **Sílvia Masae, Helga Hadachi e Andréa**, pelo carinho, compreensão e companheirismo compartilhados nessa jornada.

Às colegas de turma do curso que compartilharam todos os momentos vividos durante esse curso. **Cristiane Fonseca de Carvalho, Sandra Costa Zamboni, Sarina Braga Maciel Pereira, Sheila Passos.** Obrigado pela amizade e companheirismo que se formou durante nosso curso.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação, **Fernanda Pelógia Camargo, Renata Marques de Melo, Renata Faria, Sílvia Helena Barbosa, Graziela Ávila Prado Galhano, Guilherme Saavedra, Lucas Zogheib, Luis Gustavo Vasconcellos, Regina Amaral, Susana Salazar, Aleska Vanderlei e Aline.**

Ao **Prof. Dr. Renato Jóias**, pela dedicação e colaboração durante a confecção das amostras dessa dissertação.

Às secretárias do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, **Suzana Cristina de Oliveira e Marili Moura Esmério**, pela atenção dispensada neste período.

Às secretárias da Seção de Pós-Graduação, **Rosemary de Fátima Salgado, Erena Michie Hasegawa, Maria Aparecida Consiglio de Souza e Lílian**, pela ajuda sempre que necessária.

Aos técnicos do laboratório do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese **Inês e Fernando**, pelo carinho e apoio a mim concedidos.

À **Maria Takeshita**, assessora técnica da DeguDent (grupo Dentsply), pelo provimento dos materiais utilizados para a elaboração desse estudo.

Ao **Rinaldo** do Laboratório Atelier de Prótese, pela contribuição na parte experimental.

Ao CTA, por intermédio da Prof^{fa}. **Elizabete Salgado**, pela análise microscópica em MEV e EDS.

À CAPES, pelo provimento da bolsa de estudos.

À Diretora Técnica de Serviços de Biblioteca e Documentação, **Ângela de Brito Bellini**, da Faculdade de Odontologia de São José dos Campos – UNESP, por realizar as correções com competência e dedicação.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE QUADROS.....	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	13
RESUMO.....	15
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	20
3 PROPOSIÇÃO.....	53
4 MATERIAL E MÉTODO.....	54
4.1 Confeção dos corpos-de-prova.....	55
4.2 Ensaio mecânico de cisalhamento.....	74
4.3 Análise de fratura em estereomicroscópio.....	77
4.4 Análise em MEV.....	77
4.5 Análise de EDS.....	78
5 RESULTADOS.....	79
6 DISCUSSÃO.....	93
7 CONCLUSÃO.....	101
8 REFERÊNCIAS.....	102
APÊNDICE A.....	109
<i>ABSTRACT</i>	110

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Desenho esquemático do padrão acrílico.....	57
FIGURA 2 - Padrão acrílico confeccionado por usinagem.....	57
FIGURA 3 - Seqüência de inclusão dos padrões acrílicos.....	59
FIGURA 4 - Seqüência de remoção do revestimento dos padrões....	60
FIGURA 5 - Estrutura metálica do corpo-de-prova após jateamento total com óxido de alumínio.....	60
FIGURA 6 - A) Dispositivo de cisalhamento e B) Estrutura metálica do cp adaptada ao orifício.....	61
FIGURA 7 - Padrão metálico após tratamento superficial com ponta jateamento com óxido de alumínio.....	63
FIGURA 8 - Ponta de tungstênio.....	63
FIGURA 9- Padrão metálico após tratamento superficial com ponta de tungstênio.....	64
FIGURA 10 - Apresentação das cerâmicas opacas.....	67
FIGURA 11 - A) aplicação da primeira camada do Opaco pasta StarLight e B) estruturas metálicas após sinterização...	68
FIGURA 12 - A) aplicação da primeira camada do Opaco pasta Duceram Kiss e B) estrutura metálica após sinterização.....	69
FIGURA 13 - StarLight Ceram.....	70
FIGURA 14 - Duceram Kiss.....	71
FIGURA 15 - Dispositivo para aplicação das camadas de cerâmica.	71
FIGURA 16 - Êmbolo metálico utilizado para remover o corpo-de-prova do dispositivo de <i>teflon</i>	72
FIGURA 17 - Corpo-de-prova após a remoção do dispositivo de <i>teflon</i>	73

FIGURA 18 - Corpo-de-prova após a sinterização da primeira etapa de cerâmica de dentina.....	74
FIGURA 19- Corpo-de-prova pronto para a segunda sinterização....	75
FIGURA 20 - Corpo-de-prova após a segunda sinterização e pronto para o ensaio mecânico de cisalhamento.....	76
FIGURA 21 - Dispositivo faca com entalhe.....	77
FIGURA 22 - Ensaio mecânico de cisalhamento.....	77
FIGURA 23 - Gráfico de colunas (média \pm desvio padrão) dos dados de cisalhamento obtidos no ensaio de cisalhamento.....	81
FIGURA 24 - Gráfico de médias referente às quatro condições experimentais.....	83
FIGURA 25 - Amostra da fratura do grupo StarLight Ceram + OxAl..	85
FIGURA 26 - Amostra da fratura do grupo StarLight Ceram + W.....	86
FIGURA 27 - Amostra da fratura do grupo Duceram Kiss + OxAl.....	87
FIGURA 28 - Amostra da fratura do grupo Duceram Kiss + W.....	88
FIGURA 29 - MEV da interface do grupo StarLigth Ceram + OxAl....	90
FIGURA 30 - MEV da interface do grupo Duceram Kiss + OxAl.....	90
FIGURA 31 - MEV da interface do grupo StarLight Ceram + W.....	91
FIGURA 32 - MEV da interface do grupo Duceram Kiss + W.....	91
FIGURA 33 - Gráfico representativo da análise por EDS do grupo StarLight Ceram + OxAl.....	93
FIGURA 34 - Gráfico representativo da análise por EDS do grupo StarLight Ceram + W.....	94
FIGURA 35 - Gráfico representativo da análise por EDS do grupo Duceram Kiss + OxAl.....	95
FIGURA 36 - Gráfico representativo da análise por EDS do grupo Duceram Kiss + W.....	96

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Estatística descritiva dos dados do ensaio de cisalhamento (MPa).....	80
TABELA 2 - ANOVA (2 fatores) para os dados de cisalhamento (MPa) obtidos.....	82
TABELA 3 - Teste de Tukey (5%) referente às condições experimentais.....	83
TABELA 4 - Dados obtidos no ensaio de cisalhamento para cada grupo experimental (MPa).....	114

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Materiais empregados, características/composição e fabricantes.....	55
QUADRO 2 - Propriedades físicas das cerâmicas e da liga utilizadas.....	56
QUADRO 3 - Ciclos de sinterizações da Cerâmica StarLight Ceram.....	66
QUADRO 4 - Ciclos de sinterizações da Cerâmica Duceram Kiss....	66

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Ag = prata

Al = alumínio

Au = ouro

bar = unidade de pressão

Be = berílio

c.e.p. = coeficiente de expansão térmica

c.p. = comercialmente puro

cm = centímetro

Co = cobalto

CP = corpo-de-prova

Cr = cromo

Cu = cobre

EDS = energia dispersiva de Raios-X

Ga = gálio

gr = grama

Hg = mercúrio

In = índio

Kg = quilograma

Kgf = quilograma força

lb = libras

MEV = microscopia eletrônica de varredura

min = minuto

mm = milímetro

Mn = manganês

MPa - Mega pascal

N = Newton

Ni = níquel

nm = nanômetro

O = oxigênio

Pd = paládio

pol. = polegada

psi = unidade de pressão

r.p.m. = rotações por minuto

S = enxofre

s = segundo

Si = silício

Sn = estanho

Ti = titânio

V = vanádio

W = tungstênio

X = vezes

% = porcentagem

°C = grau Celsius

°F = grau Fahrenheit

μm = micrometro

Å = ângstron

LOMBARDO GHL. Influência do tratamento de superfície na resistência de união entre uma liga de cobalto-cromo e duas cerâmicas [dissertação]. São José dos Campos: Faculdade de Odontologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista; 2007.

RESUMO

Este trabalho avaliou a influência do tratamento superficial do metal (jateamento com óxido de alumínio e ponta de tungstênio), na resistência ao cisalhamento, entre uma liga de Co-Cr (StarLoy C - DeguDent) e duas cerâmicas (StarLight Ceram – DeguDent e Duceram Kiss - Degudent). Foram confeccionados quarenta e oito padrões metálicos de formato cilíndrico, com altura total de 4,7 mm, tendo diâmetro diferenciado entre as extremidades; a maior com 5 mm e a menor com 3,7 mm (ISO 11405), sendo doze para cada grupo: G1- superfície metálica jateada com óxido de alumínio + StarLight Ceram; G2- superfície metálica tratada com ponta de tungstênio + StarLight Ceram; G3- superfície metálica jateada com óxido de alumínio + Duceram Kiss e G4- superfície metálica tratada com ponta de tungstênio + Duceram Kiss. O ensaio de cisalhamento foi realizado em máquina de ensaio universal (Emic DL 1000, São José dos Pinhais, Brasil), com célula de carga de 100 Kg, à velocidade de 0,5 mm/min, utilizando um dispositivo específico (faca com entalhe). Após o ensaio, foi realizada a análise fractográfica e os dados obtidos analisados estatisticamente pelo teste ANOVA (2 fatores). Foram observados os seguintes valores médios de resistência de união: G1 (57,97±11,34 MPa); G2 (40,62±12,96 MPa); G3 (47,09±13,19 MPa) e G4 (36,80±8,86 MPa). Concluiu-se que o tratamento superficial com óxido de alumínio, aumentou a resistência de união entre metal e cerâmica, independente do tipo de cerâmica utilizada.

PALAVRAS-CHAVE: Ligas dentárias; cisalhamento; materiais dentários.

1 INTRODUÇÃO

A arte de devolver um ou mais elementos dentais perdidos a um indivíduo, constitui um trabalho no qual é necessário reabilitar não só a função, mas também proporcionar uma estética agradável que restabeleça a harmonia para um belo sorriso. Sendo assim, estudos longitudinais monitorados têm sido realizados durante muitos anos, para se obter materiais que sejam compatíveis com as estruturas dentárias e que permitam devolver a forma e a estética, obtendo-se com isso harmonia e principalmente longevidade, no que se concerne a resistência do material empregado.

Os sistemas metalocerâmicos, vêm demonstrando grande sucesso há muito tempo, sendo os mesmos compostos por uma estrutura metálica sobre a qual é aplicado um revestimento cerâmico estético, permitindo assim, reproduzir de maneira natural o elemento dental perdido.

O uso de ligas de metais básicos como materiais de infra-estrutura para próteses fixas metalocerâmicas aumentou devido às suas propriedades mecânicas favoráveis, ao progresso da tecnologia da cerâmica e ao aumento do custo dos metais preciosos por volta dos anos 70 (American Dental Association – ADA¹, 1985). Surgiram assim, ligas de metais não-nobres, principalmente as ligas a base de níquel- cromo (Ni-Cr – com e sem berílio) e cobalto-cromo (Co-Cr).

Em virtude das possíveis reações biológicas adversas (sensibilidade e toxicidade) causadas pela liberação do Ni em meio ácido (Wataha et al.⁷⁰, 2000), as ligas de Co-Cr foram inicialmente desenvolvidas como alternativa para resolver o problema relacionado à toxicidade das ligas que contêm níquel e berílio (Ni e Be) (Baran⁸, 1985).

Mesmo possuindo uma infra-estrutura metálica, essas restaurações estão sujeitas a falhas que podem ocorrer predominantemente na interface entre o metal e a porcelana. Sendo assim, é preciso conhecer as propriedades físicas e químicas desses dois materiais, na tentativa de se obter mecanismos de união confiáveis entre metal e porcelana (Barghi et al.⁹, 1987).

Três possibilidades de união da porcelana com o metal, podem ser observadas na literatura: forças de Van der Waals, retenção micromecânica e união química. As forças de Van der Waals são aquelas que ocorrem entre dois átomos polarizados em íntimo contato, mas sem a troca de elétrons visto na primeira união química. Está relacionada com a molhabilidade do metal pela porcelana. A união mecânica ocorre quando as irregularidades da superfície do metal são preenchidas pela porcelana, promovendo um embricamento mecânico o qual permite a retenção da porcelana. A união química é o principal determinante de união caracterizada pela transferência direta de elétrons entre o oxigênio da parte vítrea e a oxidação do metal (Leone e Fairhurst⁴⁵, 1967; Lacy⁴², 1977).

O entendimento da natureza química dessa união é muito complexo e vem sendo estudado por pesquisadores há mais de 50 anos, criando-se várias teorias para explicá-las (Caputo¹⁴, 1978; Wagner⁶⁹, 1993).

Uma das principais propriedades químicas do sistema metalocerâmico está no controle da camada de óxidos na superfície do metal para a confecção destas restaurações. Nos metais nobres, onde não ocorre a oxidação, elementos químicos oxidáveis (como índio e estanho) devem ser adicionados. Já nos metais não nobres a camada de óxidos deve ser fina e controlada para que ocorra uma união efetiva entre o metal e a porcelana. Sendo assim, uma das desvantagens destas ligas ditas não-nobres, está em controlar a formação da camada de óxido crômico (Cr_2O_3) em temperaturas elevadas, pois essas ligas consistem

em um sistema complexo, com numerosos elementos com potencial de oxidação (Sced e McLean⁶⁵, 1972; Lacy⁴², 1977; Strandman e Landt⁶⁶, 1982; McLean⁵⁰, 1985; Bullard et al.¹², 1985; Daftary e Donovan²⁰, 1987; Pezzoli et al.⁶⁰, 1989; Wu et al.⁷³, 1991; Deger e Caniklioglu²¹, 1998). Caso a camada seja muito espessa, ocorrerá uma diminuição da capacidade destas restaurações suportarem as tensões quando submetidas à cargas mastigatórias (Lavine e Custer⁴³, 1966; Bowers et al.¹¹, 1985; Persson e Bergman⁵⁹, 1996). Ou seja, quanto maior a camada de óxidos formada menor será a resistência de união entre esses materiais (Yamamoto⁷⁴, 1985; Bagby et al.⁷, 1990; Naylor⁵³, 1992; Deger e Caniklioglu²¹, 1998).

Vários estudos demonstraram que durante este processo de união, elementos metálicos difundem-se para o interior da cerâmica e diferentes elementos da cerâmica difundem-se para o interior do metal (Williams et al.⁷², 1978; Pask e Tomsia⁵⁷, 1988; Deger e Caniklioglu²¹, 1998).

Na tentativa de se melhorar a resistência de união, alguns tratamentos de superfície foram estudados tendo como objetivo aumentar a molhabilidade do metal pela porcelana e também de se controlar a formação de uma camada fina de óxidos. Dentre os tratamentos, podemos citar: pré-oxidação do metal antes da aplicação da porcelana, aplicação de agentes de união, jateamento, degaseificação, tratamento térmico, retenção mecânica (com brocas carbide e diamantada), entre outros (Anusavice et al.⁴, 1977; Daftary e Donovan¹⁹, 1986; Uusalo et al.⁶⁷, 1987; Hammad et al.²⁹, 1987; Wu et al.⁷³, 1991; Wagner e Asgar⁶⁹, 1993; Scaranelo e Muench⁶⁴, 1994; Ibrahim³⁶, 1995; Graham et al.²⁷, 1999).

Desta forma, torna-se necessário compreender essa resistência de união entre metal e porcelana verificando a relação entre as características de tratamento de superfície, neste caso com ponta de tungstênio, e a formação da camada de óxidos. Na literatura consultada,

constatou-se uma ausência de padronização no tratamento superficial do metal e, portanto a dimensão da formação da camada de óxido não é uníssona. O conhecimento da relação do tratamento superficial, a formação da camada de óxido e a resistência de união da porcelana com o metal, devem ser analisados para melhor compreensão dos fenômenos que ocorrem nesta interface.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Lavine e Custer⁴³ (1966) avaliaram algumas variáveis que poderiam melhorar a resistência de união entre metal e porcelana. Para isso, utilizaram padrões de cera de tamanhos uniformes de 1mm de espessura por 5mm de largura e 30mm de comprimento, os quais foram preparados e incluídos em revestimento Ceramigold. A cera foi eliminada por aquecimento, pela técnica de expansão térmica do revestimento. Os anéis para fundição foram aquecidos lentamente por 1 hora até 782°C e mantidos nessa temperatura por 15 minutos. A liga Ceramco N° 1 foi fundida em gás oxigênio e a fundição foi realizada numa centrífuga sem vácuo. Após a fundição, os anéis foram resfriados bruscamente em água. Os padrões fundidos foram limpos em ultra-som e analisados para verificar defeitos que pudessem comprometer os resultados finais. Com o auxílio de uma guia, foi feita uma marca de 20 mm de comprimento. Diferentes tipos de tratamento de superfície foram feitos, dentre eles: rugosidade da superfície, pré-oxidação do metal antes da aplicação da porcelana e aplicação de um condicionador de metal em diferentes temperaturas. Porcelana opaca e de corpo foram aplicadas segundo recomendações do fabricante. Foi realizado teste de flexão de 3 pontos, até a soltura ou fraturada porcelana. Os autores observaram que a rugosidade e a pré-oxidação aumentaram a resistência de união entre 13-15%, mas o agente de união na temperatura de 1925°F promoveu um aumento significativo de 25% na resistência de união.

Leone e Fairhurst⁴⁵ (1967) obtiveram conhecimentos adicionais sobre as propriedades mecânicas das metalocerâmicas, através de agentes de união e atmosferas na resistência de união entre metal e cerâmica, durante a queima da cerâmica. Para este estudo foram

utilizados 3 tipos de metais em forma de varetas, 3 tipos de cerâmicas (aplicadas em forma de rodas), 3 tipos de agentes de união (aplicados sobre o metal) e 4 atmosferas diferentes para a queima da cerâmica. A aplicação da cerâmica seguiu as recomendações dos fabricantes. O teste mecânico foi realizado com velocidade de 0,05 pol./min. Os autores puderam observar que a presença de oxigênio melhorava a resistência de união e que o inverso ocorria na presença de nitrogênio ou argônio. A resistência de união variou de acordo com a combinação da cerâmica e da liga. Agentes de união produzem um aumento insignificante na resistência de união. A presença de oxigênio aumentou significativamente a resistência de união, confirmando a teoria de que a união é de natureza química.

Sced e McLean⁶⁵ (1972) avaliaram a resistência de união entre metal e cerâmica, utilizando duas ligas contendo cromo (NiCr e CoCr) e uma liga a base de ouro como controle. Utilizaram um teste com um dispositivo em forma de “prego” sobre o qual era aplicada a cerâmica opaca formando um ângulo de 90° com o dispositivo, o qual proporcionava um ângulo de falha diretamente sobre a área de stresse. Para a confecção desse dispositivo foram utilizadas 3 ligas, uma com ouro (Gr1- Degudent) e duas com cromo (Gr2 – Wisil Co-Cr e Gr3 – Wiron Ni-Cr). O teste de tensão foi realizado com tensômetro e velocidade de 0,05 cm/seg. As médias e desvios padrão foram as seguintes: Gr1 ($28 \pm 7,05$), Gr2 ($25,4 \pm 5,3$) e Gr3 ($23,8 \pm 4,02$). A superfície de fratura de cada espécime foi examinada microscopicamente; em alguns casos a área de secção também era examinada. No Gr1, todas as amostras fraturaram no opaco, próxima a interface de união. Já nos grupos Gr2 e Gr3, a falha ocorreu predominantemente pelo deslocamento da cerâmica com a superfície do metal, geralmente deixando pequenas quantidades de produtos da reação na superfície do metal. Os autores puderam concluir que a liga áurica apresentou os melhores resultados com falhas ocorrendo na cerâmica, diferentemente das outras ligas, onde a falha

ocorreu na interface metal/cerâmica. Em atmosfera controlada, a resistência de união foi nitidamente menor do que em condições normais, sendo que o aumento da camada de óxido crômico reduz significativamente o coeficiente de expansão térmica da cerâmica, diminuindo a resistência de união.

Lubovich e Goodkind⁴⁷ (1977) investigaram se a resistência ao cisalhamento de uma liga não preciosa poderia ser comparada com a de uma liga áurica; comparar a resistência de união de duas cerâmicas com ligas preciosas, semi-preciosa e não-preciosa; avaliar a técnicas recomendadas pelos fabricantes para o preparo da superfície do metal antes da aplicação da cerâmica. Foram utilizadas 5 ligas para este estudo (uma preciosa, uma semi-preciosa e três não-preciosas) e duas cerâmicas (Vita e Ceramco). As ligas foram fundidas em barras cilíndricas (0,08 polegada de diâmetro por 3 polegadas de comprimento) e as cerâmicas foram feitas sob a forma de discos (0,07-0,09 polegada de espessura). Os discos ficaram situados a 0,5 pol. de uma das extremidades da barra. As partes da barra, não cobertas pelo disco de cerâmica, foram lubrificadas com silicone, sendo que a extremidade final (contendo o disco) foi incluída com gesso pedra em um cilindro com 1,5 polegadas de diâmetro por 1,25 de altura. Foram confeccionados 100 discos cerâmicos (50 Vita e 50 Ceramco) sendo dividido aleatoriamente em grupos iguais para cada tipo de metal. Para o ensaio de cisalhamento foi utilizada uma máquina Instron de teste universal com velocidade de 0,02 pol./min, sendo aplicada a força no longo eixo da barra cilíndrica. A carga na falha foi usada para calcular o peso por polegada quadrada necessário para cisalhar a união entre metal e cerâmica. Microscopia eletrônica de varredura avaliou a topografia da superfície de cada liga depois das preparações recomendadas por cada fabricante. Espectrografia por raios X foi utilizada para avaliar os constituintes químicos presentes em cada liga. Houve uma diferença significativa na resistência de união entre as cinco ligas estudadas, sendo

que o mesmo não ocorreu entre as cerâmicas, mas uma interação entre cerâmica e liga pôde ser observada, resultando em ótimos valores de resistência de união (Vita x liga áurica e Ceramco x ligas não-preciosas). Não houve diferenças significantes entre as cerâmicas Vita e Ceramco; as ligas testadas apresentaram diferenças significantes entre si; testes estatísticos demonstraram melhores resultados das ligas não-preciosas com a cerâmica Ceramco.

Wight et al.⁷¹ (1977) avaliaram a influência de quatro fatores (1- direção do preparo do metal 2- atmosfera de degaseificação 3- maior permanência do metal na degaseificação e 4- aumento da temperatura de queima do opaco) que mais afetam a união metal-cerâmica de ligas não preciosas, na tentativa de verificar qual melhor procedimento laboratorial para se obter resultados mais confiáveis. A primeira variável foi a direção de preparação do metal, sendo a superfície preparada em três diferentes direções: a) horizontal; b) horizontal e vertical; c) horizontal, vertical e diagonal. A segunda variável foi o estado da atmosfera durante a degaseificação, variando a pressão do ambiente atmosférico do forno de 0 a 25 ou 30 mmHg. Durante esse ciclo a temperatura do forno subiu 38° C por minuto a partir de 676,5°C até 1010°C. A terceira variável avaliada foi o tempo de permanência do metal em temperatura de degaseificação, sendo os tempos 0 minuto quando o metal era imediatamente removido do forno na temperatura limite de 1010°C, 4 e 8 minutos quando o metal era mantido nessa temperatura. A quarta variável foi o tempo de queima da cerâmica opaca, o qual consistiu de dois experimentos: I) seguiu as recomendações do fabricante (960°C), incluindo uma amostra para cada uma das 27 possíveis variações das 3 variáveis em questão; II) temperatura de 1000°C para a queima do opaco, incluindo duas amostras para cada uma das 27 variações possíveis. Um total de 162 barras foram fundidas a partir de padrões de resina acrílica, sendo que as especificações da norma STM D2295-72 foram modificadas para se comparar em um único teste tensão e cisalhamento na união

metal-cerâmica. Cerâmica Vita VMK-68 foi aplicada entre as superfícies preparadas das amostras, formando um conjunto de 81 amostras a serem testadas em uma máquina de ensaio universal com velocidade de 0,01 pol./mm. Os autores observaram que o aumento da temperatura de queima do opaco, para as ligas não nobres, melhorou a resistência de união entre metal e cerâmica e que as outras três variáveis não tiveram efeito significativo sobre essa resistência de união nos experimentos I e II.

Anusavice et al.⁴ (1977) relataram que a natureza da união entre metal e cerâmica tem sido atribuída há um número potencial de mecanismos. Provavelmente o mais amplamente aceito, seja o mecanismo de interação química entre elementos de uma fina camada de óxidos e certos constituintes da matriz cerâmica. Sendo assim, investigaram a natureza desse mecanismo de aderência, utilizando a liga Microbond N/P, fundindo por indução, barras de 8 mm x 8 mm x 1mm, as quais foram polidas metalograficamente com óxido de alumínio 0,05 µm. Foram realizados quatro tipos de tratamento: a) polimento com óxido de alumínio 0,05 µm e jateamento, seguido pela aplicação do agente de união, cerâmica opaca e cerâmica de corpo; b) polimento com óxido de alumínio 0,05 µm e jateamento, seguido pela aplicação do agente de união; c) polimento com óxido de alumínio 0,05 µm, seguido pela aplicação do agente de união, cerâmica opaca e cerâmica de corpo; d) polimento com óxido de alumínio 0,05 µm, seguido pela aplicação do agente de união. As amostras foram analisadas na interface em MEV com 5000 x de aumento, em intervalos de 1µm numa distância total de 15-16 µm, sendo posteriormente realizada uma análise em EDS. Os autores concluíram que a união entre metal e cerâmica com ligas não preciosas ocorre principalmente pela atração química entre o complexo Cr e Al, não sendo encontradas diferenças significantes com e sem o uso do agente de união.

Anusavice et al.³ (1977), em outro estudo, caracterizaram a natureza da aderência da zona de difusão das ligas não preciosas

através da análise por energia dispersiva de raios X; determinaram o efeito dos agentes de união no comportamento dos elementos da difusão e relataram as mudanças da morfologia da interface com o comportamento da difusão nos sistemas com e sem a recomendação de agentes de união. Para esse estudo, placas metálicas foram fundidas por indução com 8 mm x 8 mm x 1mm e polidas metalograficamente com óxido de alumínio 0,05 μ m de espessura. Foram utilizados 5 ligas e 5 tipos de porcelana. Em dois grupos a porcelana foi aplicada diretamente sobre o metal e em três foi aplicada depois de se utilizar um agente intermediário de união. Todas as aplicações seguiram recomendações dos fabricantes. Os autores observaram que o comportamento da interação da liga de Ni-Cr com a porcelana dental e com os sistemas de agentes de união, pode produzir uma variedade de produtos de reação na zona de aderência. A formação de tais produtos depende da oxidação-redução da difusão dos íons metálicos e subsequente união química com agentes de união compatíveis ou elementos cerâmicos. Os óxidos metálicos podem ser necessários para induzir a aderência metal-cerâmica possivelmente na forma de óxidos metálicos simples tais como Cr₂O₃ ou NiO ou mais complexos como TiO. Cr₂O₃ ou NiCr₂O₃ o qual foi reportado em contribuir com a resistência da liga de Ni-Cr.

Malhotra e Maickel⁴⁹ (1980) demonstraram em estudo, as variações na resistência de união ao cisalhamento obtidas ambos com e sem isolamento por cera dos corpos de prova metalocerâmicos através de testes de “*push*” e “*pull*”, seguindo as recomendações dos fabricantes. Varetas plásticas de 2,25 mm de diâmetro e 50 mm de comprimento, foram incluídas em revestimento fosfatado, sob vácuo. A fundição foi feita por meio da técnica da cera perdida, utilizando-se maçarico gás-oxigênio. Após a desinclusão, as varetas metálicas foram jateadas, lavadas em água destilada em lavadora sônica por 10 minutos, sendo então levadas a forno para degaseificação. Em torno dessas varetas metálicas foram feitos discos de porcelana com espessura de 1,5-2,0 mm. Gesso pedra foi

utilizado para construir cilindros de 20 mm de comprimento por 40 mm de diâmetro em torno das varetas metálicas com o disco de porcelana no centro. Para evitar a união entre o metal e o gesso, foi utilizado cera para isolar as varetas metálicas, sendo que toda cera encontrada nos discos de porcelana foi removida. Para o teste mecânico, foi utilizada uma máquina Instron de ensaio universal, com velocidade de 0,5 mm/min. Os autores concluíram que se faz necessário isolar as barras metálicas com cera, para se evitar erros na leitura das cargas durante o ensaio mecânico e que os testes de “*push*” apresentaram valores de resistência ao cisalhamento maiores do que os de “*pull*”.

Gavellis et al.²⁶ (1982) compararam a resistência de união de dois sistemas metalocerâmicos. Para isso foram utilizados duas ligas áuricas, duas cerâmicas e dois agentes de união. Vinte e quatro varetas foram confeccionadas para cada liga pela técnica da cera perdida, segundo recomendações dos fabricantes. As varetas metálicas foram desincluídas do revestimento, e por meio de pedras de óxido de alumínio foram removidas irregularidades da superfície. A região determinada para a aplicação da porcelana foi preparada com pedra de óxido de alumínio de granulação mais fina. As varetas foram divididas em 4 grupos com 12 espécimes, recebendo tratamentos iniciais iguais, sendo condicionadas com ácido fluorídrico por 20 minutos seguidas de lavagem em água destilada e oxidação segundo recomendações dos fabricantes. Um grupo de cada metal recebeu um tratamento prévio a aplicação da porcelana, com um agente de união e a aplicação da porcelana foi realizada com auxílio de um guia, possibilitando que rodas de porcelana fossem obtidas com 0,25 polegadas de diâmetro e 0,09 polegadas de espessura. A região da vareta que não recebeu a cobertura com a porcelana, foi isolada com cera e a porcelana foi embutida em gesso e deixada em bancada por uma semana. Os corpos-de-prova foram submetidos ao teste de cisalhamento em uma máquina de ensaio universal Instron, com velocidade de 0,02 pol./min. Após a fratura, os autores puderam observar

poucas partículas de porcelana presas às varetas. Houve diferença estatística entre os grupos estudados em relação à resistência de união, sendo que a união mecânica, por meio do agente de união, promove um aumento significativo na resistência de união.

DeHoff et al.²² (1982) compararam as observações experimentais de localização da fratura e tipo de falha com os resultados obtidos com cálculos de elemento finito. Para isso utilizaram o teste de flexão de 4 pontos, pela facilidade de confecção dos corpos-de-prova, pela espessura do material estar próximo da realidade clínica, e pelo fato das falhas de união entre o metal e a porcelana ocorrerem sempre na linha de aplicação de força. Foram utilizados 3 tipos de liga e 3 tipos de porcelana, totalizando 32 espécimes, com 2 razões de espessura entre metal e porcelana (MCG-1: metal com espessura de 2 mm e MCG-2: metal com espessura de 1 mm). As tiras confeccionadas com metal tinham 48 mm x 10 mm, e porcelana aplicada numa área central de 25 mm x 10 mm apresentava sempre 0,3 mm de porcelana opaca e 0,7 mm de porcelana de corpo. As cargas foram aplicadas em incrementos, verificadas com um medidor de deformação e monitoradas com auxílio de um voltímetro digital. As lâminas elétricas de resistência do medidor de deformação foram colocadas na superfície do metal e porcelana, de 10 espécimes antes do início do teste. Após os ensaios, os autores observaram que a localização da falha dependeu da geometria dos espécimes. O grupo MCG-1 mostrou início da falha na superfície da porcelana entre os pontos de aplicação da carga, enquanto que o grupo MCG-2 apresentou falha abaixo de uma das linhas de aplicação da força, e que a análise pelo teste de elemento finito fornece vantajosa aproximação para a interpretação da distribuição e magnitude da falha de estresse, embora a complexidade desta distribuição de estresse abaixo da linha de aplicação no teste de flexão de quatro pontos pode fornecer enganosa informação a respeito dos efeitos das variáveis experimentais na interface da falha adesiva.

McLean⁵⁰ (1983) relatou que para a seleção de uma liga para prótese metalocerâmica, duas propriedades devem ser levadas em consideração. A primeira é que o metal não deve sofrer deformação e causar a fratura da porcelana; a segunda é que o metal deve ficar permanentemente unido à porcelana, não causando mudanças na sua cor. Outros fatores importantes incluem precisão, ser biocompatível e ser resistente ao manchamento. Nesse estudo, o autor relata que a formação da camada de óxidos deve seguir alguns requisitos: 1) os óxidos formados na superfície do metal não devem descolorir a porcelana ou interferir na formação da camada vítrea; 2) os óxidos devem ser solúveis na porcelana; 3) é essencial a boa molhabilidade do metal ou do óxido metálico pela porcelana; 4) o metal, ou os óxidos metálicos, não devem reagir de forma a reduzir a união com a porcelana ou introduzir estresse interno alterando o coeficiente de expansão térmica na interface com a porcelana.

Kelly e Rose⁴⁰ (1983) realizaram uma revisão de literatura sobre o uso de ligas alternativas em próteses parciais fixas. Em relação à união do metal com a porcelana, descreveram que esta resulta de uma força química e mecânica e que numerosos autores acreditam que a retenção está relacionada à formação de óxidos na superfície do metal, o qual pode agir facilitando a molhabilidade, dissolvendo e interagindo quimicamente com a porcelana. As forças mecânicas resultam principalmente de uma diferença entre os coeficientes de expansão térmica do metal e da porcelana.

Com o objetivo de avaliar a resistência de união entre o metal e a porcelana através do teste de cisalhamento, Bowers et al.¹¹(1985) utilizaram nessa pesquisa 3 agentes de união e 4 ligas diferentes. Para o teste, foram confeccionados 40 discos metálicos de 1/4 x 1/16 polegada para cada liga. Após a fundição, os discos foram resfriados em temperatura ambiente, limpos em lavadora sônica com água destilada e secos com ar. As amostras foram divididas em 4 grupos

de 10 discos para cada liga, sendo que três grupos receberam um tipo de agente de união e um grupo não. Os agentes de união foram queimados em forno de acordo com as especificações dos fabricantes. A seguir, foram confeccionados cilindros de porcelana de 1/8 x 1/2 polegada, os quais foram fixados perpendicularmente aos discos metálicos. A porcelana foi sinterizada de acordo com as normas do fabricante. As amostras foram incluídas num cubo de resina acrílica autopolimerizável, sendo então montadas num dispositivo de alumínio e o conjunto foi fixado a um suporte numa máquina de ensaio universal Instron. O teste foi realizado com velocidade de 0,02 pol./min. Após cada ensaio, os resultados obtidos foram analisados pelo método de Scheffe com nível de significância de 5% e as amostras foram classificadas segundo o tipo de falha que apresentaram (coesiva ou adesiva). Segundo os autores, nesse trabalho, com exceção de um tipo de liga, os agentes de união não melhoraram a resistência de união na superfície do metal. Acreditam que estes agentes possam funcionar melhorando as propriedades estéticas e limitando as mudanças de cor na porcelana durante os ciclos de queima.

Baran⁸ (1985) relatou as propriedades de ligas alternativas para uso em restaurações metalocerâmicas, evidenciando suas vantagens para esta finalidade. Descreveu nesse artigo as duas ligas mais utilizadas para próteses fixas, sendo estas as de níquel-cromo e as de cobalto-cromo, relatando suas propriedades e o motivo da sua introdução no mercado como substituintes das ligas áuricas. Em relação à união metal-porcelana, o autor escreveu sobre a necessidade da realização da pré-oxidação da liga para liberar o estresse interno e ocorrer a formação de uma camada de óxido na superfície da liga, permitindo uma molhabilidade mais fácil da porcelana. O objetivo da pré-oxidação é formar uma camada de óxido com espessura apropriada, promovendo uma união sem falhas entre metal e porcelana.

Bullard et al.¹²(1985) comentaram que existe diversas formas de melhorar a qualidade da união entre metal e porcelana, como

por exemplo, a colocação de estanho, ferro ou índio na superfície do metal, melhorando a superfície de união entre os dois materiais. Os autores avaliaram o efeito da cobertura da superfície do metal com películas de óxidos metálicos, utilizando quarenta corpos-de-prova divididos em quatro grupos iguais, fundidos em liga nobre e com formato para teste mecânico de cisalhamento proposto por McLean e Sced em 1973. A porção cônica dos corpos-de-prova de cada grupo foi coberta com Al_2O_3 , In e Sn na espessura de 50, 100 e 100 nm, respectivamente, seguindo as recomendações de cada processo. Um grupo não recebeu qualquer tipo de tratamento, atuando como controle. Após a oxidação dos corpos-de-prova, foi aplicada porcelana opaca e de corpo, esperando-se dois dias para o início do teste mecânico em máquina de ensaio universal Instron e velocidade de 0,008 mm/seg. Somente as falhas adesivas foram consideradas no estudo, evidenciando que a cobertura com óxido de alumínio e índio melhora consideravelmente a força de união. Pouca diferença foi observada entre os corpos-de-prova cobertos com estanho e o grupo controle. A aplicação de uma fina película de óxidos é vista como um método que melhora a união entre o metal e a porcelana. Utilizando-se o método de cobertura por descarga de óxidos metálicos permite controlar a espessura da camada de óxidos na superfície do metal.

Daftary e Donovan¹⁹ (1986) relataram que existem alguns fatores críticos para assegurar o sucesso da união entre metal e porcelana, incluindo a compatibilidade entre os materiais, geometria da estrutura metálica, composição da liga, técnica de aplicação da porcelana e procedimentos de pré-tratamento utilizados na preparação do *coping* metálico. Este estudo compara o efeito de quatro técnicas de pré-tratamento da superfície de três ligas básicas e uma liga de ouro, na resistência de união com a porcelana. Os quatro tipos de pré-tratamentos foram: a) degaseificação convencional: *copings* aquecidos de 1250°F à 1850°F sob vácuo para limpar o metal e formar uma camada de óxido; b) dupla degaseificação: os *copings* foram degaseificados e abrasionados

com óxido de alumínio 50 µm e novamente degaseificados com o mesmo ciclo de queima anterior; c) condicionamento com ácido: os *copings* foram degaseificados e imersos numa solução de ácido nítrico 20%, ácido sulfúrico 75% e ácido fosfórico 5% por 30 minutos à temperatura de 90°F + 5°F; d) queima em alta temperatura: as amostras foram degaseificadas e abrasionadas com óxido de alumínio 50 µm, com queima da porcelana opaca a 1850°F, 100°F acima do recomendado pelo fabricante. Para a obtenção dos corpos-de-prova, os autores partiram de um modelo metálico simulando preparo para coroa total num primeiro pré-molar com término cervical em lâmina de faca. Utilizando-se uma lâmina de polipropileno sob vácuo, foi obtido um molde do preparo e no seu interior vertido cera, obtendo-se um padrão que foi unido ao *sprue* e levados para inclusão em revestimento fosfatado. Após a eliminação dos padrões de cera em forno convencional, a fundição foi realizada em centrífuga. Os padrões metálicos foram limpos, e as superfícies usinadas com pedras de óxido de alumínio para posterior jateamento com óxido de alumínio 50 µm. Foram preparadas cinco amostras para cada pré-tratamento e para cada um dos quatro metais. Uma fina camada de porcelana opaca foi aplicada em todos os grupos, porém no grupo dos tratamentos **a**, **b** e **c** a temperatura do forno foi de 1250°F à 1750°F, com aumento de 80°F por minuto, e no tratamento **d** a temperatura final foi de 1850°F. Após resfriamento, uma segunda camada de opaco foi aplicada com a mesma técnica utilizada para aplicação da porcelana de corpo, numa temperatura de 50°F menor do que nas camadas de opaco. Para padronizar os corpos-de-prova, a aplicação foi realizada por apenas um operador. Os espécimes foram fraturados numa máquina de ensaio universal, com teste de compressão e com velocidade de 0,002 pol./min. Até a primeira separação da porcelana da interface com o metal. Os autores observaram diferença estatística entre os metais, com uma liga básica apresentando maiores valores, porém não observaram diferenças entre os pré-tratamentos.

Barghi e McKeehan-Whitmer⁹ (1987) estudaram a influência de repetidas queimas da porcelana sobre a união entre metal e porcelana, utilizando uma liga nobre e uma não nobre. Sessenta incisivos centrais direito foram encerados com espessura de 0,3 mm, incluídos e fundidos, seguindo as recomendações dos fabricantes, sendo trinta em cada tipo de liga. As fundições foram usinadas, jateadas e oxidadas, sendo que a liga não nobre recebeu dois ciclos de oxidação com jateamento entre eles. Um único tipo de cerâmica foi aplicado, com 0,3 mm de opaco e o restante em cerâmica de corpo, até a reconstrução de um dente com tamanho compatível ao encontrado na cavidade oral. Após acabamento da superfície, cada liga foi subdividida em grupos menores de dez amostras, sendo o grupo A glazeado convencionalmente, o grupo B sofrendo mais 4 ciclos de queima e o grupo C sofrendo mais nove ciclos de queima. Todas as coroas foram montadas individualmente na posição vertical em resina acrílica, para ser realizado o ensaio mecânico de compressão com velocidade de 0,5 mm/min. Observaram que não houve diferença na resistência de fratura entre os grupos A e B na liga nobre, sendo que na liga não nobre os três grupos comportaram-se de maneira semelhante e com maiores forças de união quando comparados com a outra liga.

Uusalo et al.⁶⁷ (1987) compararam a união metal-porcelana utilizando um teste simplificado (tração) e quatro diferentes tipos de ligas nobres e três não nobres. As fundições seguiram as recomendações dos fabricantes e cada espécime consistiu em uma área de teste de 7 mm de diâmetro com uma alça superior responsável pela fixação em máquina de ensaio universal. As superfícies foram jateadas, limpas em água destilada por 20 minutos e oxidadas por 10 minutos sem vácuo. Após, foi aplicado um agente de união nas superfícies, queimadas em forno, para posterior aplicação da porcelana realizando a união das duas superfícies. O ensaio mecânico foi realizado com velocidade de 8 mm/min. A carga foi aplicada até a separação das partes. Dentre as ligas

avaliadas, as nobres obtiveram melhores resultados. Dentre as não nobres, a de cobalto-cromo obteve melhor resultado, com fratura variável (mista), evidenciando que este tipo de metal possui uma técnica laboratorial sensível.

Hammad²⁹ (1987) compararam o efeito de diferentes temperaturas de queima da porcelana, textura da superfície e tipo de metal na força de união metal-porcelana. Utilizaram uma liga nobre e uma alternativa, com corpos-de-prova confeccionados de maneira similar. As amostras constituíam-se de duas partes: A e B. No total, 72 partes do tipo A e 72 do tipo B foram confeccionadas, sendo que 24 do tipo A foram fundidas em liga nobre e 48 em liga alternativa. Todas as partes B foram fundidas em liga alternativa, pois foram usadas apenas para sustentar a porcelana opaca. Três grupos de 24 amostras foram formados e subdivididos em dois subgrupos. Dois grupos da liga alternativa foram submetidos ao ataque eletrolítico após o jateamento. Nos outros dois grupos a superfície foi usinada com ponta montada diamantada e jateadas com óxido de alumínio férrico (25 μm). As fundições com a liga nobre foram degaseificadas e jateadas com óxido de alumínio. Porcelana foi aplicada em todas as amostras com 1,5 mm de espessura. Em três grupos seguiram-se as recomendações do fabricante e nos outros três grupos a temperatura foi elevada. Um dispositivo acoplado a uma máquina de ensaio universal Instron, permitiu alinhar todos os corpos-de-prova e introduzir estresse na interface metal-porcelana com velocidade de 0,01 pol./min. Duas amostras foram escolhidas aleatoriamente para análise visual e microscópica. Os autores observaram que houve interação entre a textura superficial do metal e temperatura de queima da porcelana. Quanto maior a irregularidade da superfície, maior a força de união dos materiais, o mesmo comportamento ocorrendo com a queima da porcelana em temperaturas mais elevadas que o recomendado pelo fabricante.

Daftary e Donovan²⁰ (1987) relataram que o maior obstáculo para se conseguir uma união entre o metal e a porcelana está na dificuldade em se controlar a camada de óxido que se forma na superfície do metal em elevadas temperaturas. Adequada união química ocorrerá quando íons metálicos migram da superfície do metal para dentro da porcelana opaca, formando uma continuidade da união iônica da camada da porcelana opaca para uma camada de óxido ultrafina na superfície do metal. Propuseram determinar o efeito da eletrodeposição de uma camada de ouro na resistência de união e determinar a espessura ideal dessa camada. Amostras foram preparadas para o teste de Shell-Nielson modificado. Doze medidores de plástico de 1 pol. de comprimento por 2,5 mm de diâmetro, foram incluídos em revestimento fosfatado para fundição por indução das amostras metálicas. Estas foram jateadas com óxido de alumínio de 50 μm , degaseificadas de acordo com as recomendações do fabricante. Foi aplicada uma camada de porcelana opaca em torno das amostras metálicas e uma segunda camada para correções. Um dispositivo foi confeccionado para a aplicação da porcelana de corpo, a qual foi condensada por meio de um ultra-som. Para o teste de compressão foi utilizada uma máquina de ensaio universal Instron com velocidade de 0,002 pol./min., até a primeira separação da porcelana com a interface metálica. Para esse estudo foram utilizadas quatro ligas, sendo uma nobre a qual serviu de controle não recebendo tratamento com a eletrodeposição. As ligas não nobres foram tratadas de três formas: I) sem pré-tratamento da superfície; II) as amostras foram submetidas à exposição áurica por 30 segundos, ficando com uma espessura de 180Å; III) as amostras foram submetidas à exposição áurica por 2 minutos, ficando com uma espessura de 720Å. Somente as amostras dos grupos II e III foram jateadas com óxido de alumínio com partículas de 50 μm e imersas em banho sônico para limpeza prévia à aplicação da camada de ouro. As amostras do grupo I foram degaseificadas em forno a vácuo com aquecimento de 1250°F até

1850°F. Após o teste, foi observado que todas as amostras do grupo controle apresentaram fratura coesiva. As amostras do grupo I apresentaram fratura do tipo adesiva, as do grupo II do tipo coesiva e as do grupo III coesiva e adesiva dependendo da liga utilizada. A resistência adesiva apresentou maiores resultados para o grupo II onde a cobertura de ouro foi mais fina que do grupo III, o qual apresentou os piores resultados por conter uma camada de ouro mais espessa, que segundo os autores foi a responsável pelo impedimento da migração dos íons metálicos para dentro da camada da porcelana opaca, o que não ocorreu no grupo II.

Mackert Junior et al.⁴⁸ (1988) desenvolveram nesse estudo uma metodologia para controlar a deformação dos espécimes na interface metal-porcelana e avaliar a força adesiva na região. O teste consistiu numa modificação do ensaio de flexão de três pontos. Sete ligas para metalocerâmica foram utilizadas, fundidas em barras e em número de dez com 13 mm x 13 mm x 1 mm para cada tipo de liga. Para duas destas ligas foram fundidas mais dez barras para utilização de um agente de união recomendado pelo fabricante. Após tratamento específico da superfície dos metais, porcelana opaca foi aplicada na região central com auxílio de um gabarito, até espessura de 0,2 mm e comprimento de 6 mm e a porcelana de corpo foi aplicada com o mesmo gabarito na espessura de 0,8 mm com o mesmo diâmetro, produzindo uma espessura de cerâmica de 1mm. O ensaio mecânico foi realizado em máquina de ensaio universal com velocidade de 0,25 mm/min. Após fratura os espécimes foram analisados em microscopia eletrônica de varredura. A análise microscópica revelou boa adesão da porcelana ao metal, permanecendo em torno de 62% da mesma sobre o metal. Os autores concluíram que a formação de uma camada de óxido na superfície do metal é responsável pela união do mesmo com a porcelana, desde que esse metal possua uma ótima aderência a óxidos.

Pezzoli⁶⁰ (1989) verificaram a união adesiva de uma porcelana a uma liga magnetizável à base de paládio-cobalto (Pd-Co), comparando os resultados à outras duas ligas para restaurações metalocerâmicas, sendo uma preciosa e a outra não preciosa. Dois testes mecânicos foram utilizados, flexão de quatro pontos e cisalhamento, na tentativa de minimizar os erros e os limites relacionados à apenas um único teste. Dezesesseis espécimes medindo 1 mm de espessura, 10 mm de largura e 20 mm de comprimento foram confeccionados para cada liga e, após fundição, a porcelana foi aplicada na região central com 1,5 mm de espessura (0,5 mm de opaco e 1 mm de porcelana de corpo), 10 mm de comprimento, seguindo as recomendações do fabricante. Oito espécimes de cada liga foram selecionados para o ensaio de flexão de quatro pontos e as restantes para o teste de cisalhamento, ambos com velocidade de 0,05 pol/min., carregadas com carga até a ocorrência da falha de união dos materiais, para posterior avaliação em MEV e EDS. Os resultados mostraram que a liga preciosa apresentou valores mais elevados em ambos os ensaios, seguidos pela liga magnetizável e não preciosa. A avaliação em MEV revelou que na liga preciosa a falha ocorreu principalmente na interface óxido da porcelana, sendo que na liga não preciosa ocorreu entre a superfície do metal e a camada de óxido, e na liga magnetizável ocorreu no corpo e na interface de óxido da porcelana.

Bagby et al.⁷ (1990) realizaram uma revisão de literatura sobre a compatibilidade entre metal e porcelana. Relataram que a união dos dois materiais ocorre pela união química, retenção mecânica e forças de Van der Waals. A união química envolve uma camada intermediária de óxido, com a porcelana dissolvendo-se parcialmente e saturando-se com os óxidos metálicos entrando em equilíbrio termodinâmico, resultando numa contínua estrutura eletrônica. Na retenção mecânica, irregularidades da superfície do metal auxiliam a união, porém a quantidade e a forma destas irregularidades é difícil de ser definida

laboratorialmente. As forças de Van der Waals são baseadas nos ângulos de contato, melhorando a molhabilidade do metal e aumentando a força de união quando a camada de óxido está presente.

Morris⁵² (1990) avaliou as propriedades mecânicas de sete ligas a base de cobalto-cromo para restaurações metalocerâmicas, após tratamentos térmicos simulando os ciclos de queima da porcelana. Para cada liga foram confeccionados vinte e quatro padrões plásticos em forma de barra com dimensões recomendadas pela ADA Nº5, as quais foram incluídas em revestimento fosfatado, eliminadas em forno (1500°F), e os anéis levados em máquina de indução para a realização da fundição. Completada a fundição, os anéis foram resfriados em bancada, desincluídos, limpos, jateados com óxido de alumínio e separados dos *sprues*. Vinte das 24 barras de cada grupo foram escolhidas aleatoriamente para receber tratamento térmico, simulando os passos de cocção da porcelana (segundo as recomendações do fabricante) em cinco etapas: degaseificação, opaco, dentina (dois ciclos) e glaze. Todos os corpos-de-prova foram testados em máquina de ensaio universal com velocidade de 0,05 cm/min., associando a um extensômetro, avaliando a força máxima de tensão, porcentagem de alongação e módulo de elasticidade. Seguindo os mesmos procedimentos de fundição anterior, discos de cada liga foram fabricados para avaliar a microdureza após os tratamentos térmicos. Três comparações foram feitas: comparação das propriedades mecânicas das ligas após fundição, comparação das ligas após tratamento térmico e comparação entre as duas anteriores. Concluíram que o tratamento térmico tem pouco efeito sobre as propriedades mecânicas das ligas de cobalto-cromo, sendo que a dureza aumentou significativamente em algumas ligas, dificultando o trabalho do técnico de laboratório.

Wu et al.⁷³ (1991) avaliaram o efeito do tratamento térmico de oxidação na resistência de união entre porcelana e metais não nobres, sob vácuo e variando tempo e condições atmosféricas,

investigando, ainda, a difusão de íons na zona de interação entre a porcelana e as ligas. Os autores utilizaram duas ligas de níquel-cromo e duas de cobalto-cromo, dividindo a pesquisa em duas partes: a) teste de flexão de três pontos; b) avaliação em MEV, EDS e o escaneamento de linha para verificar o limite da fase de mudanças entre metal e porcelana. Para o ensaio mecânico foram utilizados como padrão 170 tiras de cera com 28 mm x 3,2 mm x 0,6 mm as quais foram unidas ao *sprue* e incluídas em revestimento fosfatado seguindo as recomendações do fabricante. Os anéis de revestimento permaneceram em bancada até a colocação em forno com temperatura de 1700°F. Após a eliminação da cera, os metais foram fundidos pela técnica de indução a aproximadamente 2800°F. Terminado o processo de fundição, desinclusão e limpeza, as tiras metálicas foram medidas com calibradores e com auxílio de um retificador, as mesmas foram ajustadas na medida de 25 mm x 3 mm x 0,5 mm, jateadas e limpas em ultra-som. As tiras foram divididas aleatoriamente em quatro grupos conforme os dez diferentes tipos de tratamentos propostos. A exceção foi dada apenas a uma liga de cobalto-cromo que seguiu as recomendações do fabricante. Todos os espécimes foram degaseificados sob vácuo por um minuto, resfriados em bancada, jateados com óxido de alumínio 50 µm e limpos em ultra-som por três minutos. Na região de 8 mm central, foram aplicadas, primeiramente, duas camadas de opaco (80°F/min sob vácuo) e uma camada de porcelana de corpo com 1mm de altura (1775°F em 700 mmHg de vácuo). O ensaio mecânico de três pontos foi realizado em máquina de ensaio universal com célula de carga de 200 lb e velocidade de 0,01 pol./min. Os grupos que apresentaram diferenças estatísticas foram examinados em MEV e EDS. Para isto, dois espécimes foram embutidos em resina epóxica, seccionados longitudinalmente, polidos com lixas seqüenciais e cobertos com grafite. Quatro elementos foram selecionados para análise: Al, Si, Ni e Cr na liga de níquel-cromo e Al, Si, Co e Cr na liga de cobalto-cromo. As concentrações de íons foram

traçadas em papel e comparadas entre si. Os autores concluíram que o tratamento térmico de oxidação não influenciou na união metal-porcelana, da mesma forma que as variáveis temperatura e vácuo. Observaram ainda que a concentração de íons Al aumentou nas duas ligas e que a concentração de íons Si aumentou em níquel-cromo e diminuiu na liga de cobalto-cromo.

Wagner et al.⁶⁹ (1993) determinaram o efeito da modificação da morfologia e química da superfície do metal na união metal-porcelana. Foi utilizada uma liga à base de Pd-Cu-Ga (Paládio-Cobre-Gálio) por apresentar composição simples de análise e estar próxima às ligas de Pd-Cu (Paládio-Cobre) utilizadas em odontologia. Barras cilíndricas do metal (10mm x 5mm) foram fundidas pela técnica de indução e, após desinclusão, limpeza e polimento com pasta de diamante de 1 μ m, três diferentes tratamentos foram realizados antes de aplicar a porcelana: a) o primeiro foi a pré-cobertura do metal, antes da porcelana, com Al₂O₃, Mn₂O₃, CuO ou SnO₂ com 100nm de espessura sendo que com Al₂O₃ três espessuras foram estudadas; b) o segundo foi o tipo de tratamento térmico, com a pré-oxidação da liga (982°C, mantido em ambiente por cinco minutos para posterior aplicação da porcelana) ou a queima da porcelana em condições reduzidas (95% argônio e 5% hidrogênio); c) o terceiro tratamento foi a rugosidade da superfície do metal com lixas de papel com granulação 400, jateamento com óxido de alumínio de 25 μ m e ranhuras de 1mm de profundidade por 1mm de diâmetro. Após a realização dos tratamentos, a porcelana foi aplicada na região específica com a forma de roda medindo 45 mm x 3 mm. A área que não foi coberta pela porcelana recebeu uma camada de cera para posterior inclusão do conjunto em gesso. Teste de compressão foi realizado associado à análise em MEV, avaliando a fratura entre metal e porcelana. Os autores concluíram que a rugosidade, a pré-cobertura e a pré-oxidação da liga aumentam a união metal-porcelana, o mesmo não ocorrendo quando a porcelana foi queimada sob condições reduzidas.

Scaranelo e Muench⁶⁴ (1994) estudaram a resistência de união entre metal e porcelana, avaliando cinco fatores com dois níveis cada um. A partir de padrões de cera foram fundidos discos com forma cônica truncada, medindo 0,614 cm e 0,410 cm de diâmetro e 0,480 cm de altura. Após remoção dos canais de alimentação, os discos eram terminados e tratados superficialmente conforme recomendações dos fabricantes, para posterior degaseificação. Os fatores estudados foram: duas ligas não nobres, jateamento ou não da superfície antes da porcelana ser aplicada, duas porcelanas, uso apenas de opaco ou sua mistura com dentina e cocção sob vácuo ou não. A porcelana foi aplicada com auxílio de um gabarito e depois de prontos os corpos-de-prova foram submetidos ao cisalhamento em máquina de ensaio universal. Os autores encontraram que o jateamento com óxido de alumínio pode melhorar a força de união, da mesma forma que a mistura da porcelana opaca e dentina.

Ibrahim³⁶ (1995) analisou a interface entre metal e porcelana de uma liga não nobre, utilizando MEV e micro-sonda de elétron (ME), com o objetivo de verificar quais elementos químicos, e em qual quantidade estão presentes em cada fase. Vinte padrões de cera preparados com 3mm x 6mm x 8mm x 1mm e ângulo de convergência de 10° foram fundidos por indução, de acordo com o fabricante, e após desinclusão e limpeza foram polidos com lixas abrasivas de granulação 400, 600, 800 e 1000. Cinco grupos foram igualmente formados quanto à região de análise: Grupo A controle: superfície do metal fundido; Grupo B: superfície do metal após oxidação sob vácuo; Grupo C: superfície do metal, após aplicação da porcelana, de acordo com o fabricante; Grupo D: superfície do metal após jateamento da superfície com óxido de alumínio 50 µm e queima em forno simulando o ciclo de cocção da porcelana; Grupo E: camada de óxido da porcelana após sua separação do metal. O autor concluiu, após análise, que a composição da camada de óxido é formada principalmente por Cr₂O₃ e NiO, com traços do óxido metálico na

porcelana, e que a excessiva oxidação gera aumento da espessura da camada de óxido causando a fragilidade e, conseqüentemente, falha na união metal-porcelana.

Anusavice⁶ (1998) relatou que o requisito primário para o sucesso de uma restauração metalocerâmica é o desenvolvimento de uma união duradoura entre a porcelana e a liga metálica. Com a união obtida, há a possibilidade de se introduzir tensões de dobramento neste sistema durante o processo de queima da porcelana. Uma distribuição de tensões desfavorável durante o processo de resfriamento, pode resultar na fratura da porcelana, da mesma forma que uma fratura tardia poderá ocorrer. O autor conclui que para haver sucesso faz-se necessário uma forte união interfacial quando há compatibilidade térmica entre os materiais.

Deger e Caniklioglu²¹ (1998) avaliaram, nesse estudo, a resistência de união do metal com a porcelana, tratando a superfície do metal. Esse trabalho foi dividido em duas partes: parte 1 – onde se verificou a profundidade de difusão do estanho a partir da deposição de uma camada de estanho sobre a superfície do metal, o qual foi analisado por EDS; parte 2 – foi analisada a união entre metal e cerâmica por meio do teste de cisalhamento. Para a parte 1 foram utilizados 18 padrões em cera medindo 1 x 1 x 2 mm, sendo que nove foram fundidos com uma liga de Co-Cr (Bondi-Loy) e ou outros 9 foram fundidos com uma liga de Ni-Cr (Wiron 99). Os corpos foram esfriados em temperatura ambiente, jateados com óxido de alumínio 125 µm e limpos em ultra-som por 10 minutos. Depois disso, as amostras receberam uma camada de 1µm de espessura de estanho. As amostras foram divididas em 3 grupos, cada grupo com 3 corpos-de-prova de cada liga. Gr1: as amostras foram aquecidas da temperatura ambiente até 1000°C em argônio, mantidas nessa temperatura por 15 minutos e resfriadas em forno; Gr2: variou o tempo de permanência na temperatura de 1000°C por 30 minutos; Gr3: o tempo de permanências das amostras na temperatura de 1000 °C foi de 60 minutos.

Em seguida as amostras foram incluídas em resina epóxica, polidas e analisadas por EDS. Para a segunda fase deste estudo, foram utilizados 3 ligas, uma de Co-Cr e uma de Ni-Cr para restaurações metalocerâmicas e uma liga de Ni-Cr para restaurações entre metal e resina. Foram preparados 120 padrões em cera com 0,5 cm de diâmetro por 5 cm de comprimento. Estes foram divididos em números iguais (40) para cada tipo de liga. Pontas de tungstênio foram utilizadas em uma única direção para eliminar quaisquer alterações no diâmetro. As amostras foram divididas em 5 grupos, 8 amostras de cada liga por grupo, de acordo com o tipo de tratamento de superfície antes da aplicação da porcelana. Os grupos 1, 2, 3 e 4 receberam uma camada de estanho com 1 μ m de espessura. As amostras do grupo 1 foram deixadas a parte para a queima da porcelana. As dos grupos 2, 3 e 4 foram aquecidas da temperatura ambiente até 1000°C para difusão da camada de estanho em ambiente de argônio e deixadas nessa temperatura por 30 minutos. As amostras do grupo 3 foram oxidadas sob 720 mmHg de pressão à vácuo por 1 minuto a 900°C em forno. Já as do grupo 4 foram oxidadas sobre pressão atmosférica por 1 minuto a 900 °C. As superfícies do grupo 5 foram tratadas de acordo com as recomendações do fabricante. Foram aplicadas duas camadas de porcelana opaca e em seguida a porcelana de corpo. Estando os espécimes prontos, estes foram submetidos ao ensaio mecânico de cisalhamento e os dados analisados estatisticamente. Os autores concluíram que em ambiente de argônio, a liga de Co-Cr obteve os melhores resultados de resistência de união. A liga de Ni-Cr para metal-resina obteve os melhores resultados quando se utilizou os métodos convencionais. Os fatores que afetam a camada de união entre metal e porcelana são: oxidação do metal, velocidade de vitrificação da porcelana e velocidade de difusão dos íons metálicos.

Graham et al.²⁷ (1999) compararam o efeito de sete diferentes tratamentos de superfície de uma liga não nobre, na avaliação da resistência de união entre metal e porcelana, utilizando o teste

recomendado pela *British Standards Institution*. A peça para teste foi construída em aço inoxidável e duplicada com silicone de uso laboratorial, possibilitando o enceramento das réplicas, fixação do *sprue* e inclusão em revestimento fosfatado. A técnica de inclusão e eliminação do padrão de cera em forno seguiu as recomendações do fabricante e a técnica de fundição foi a de indução. Após desinclusão, a camada de óxido da superfície foi removida com jateamento de óxido de alumínio 50 μm com pressão de 6 *bars*. Discos de carborundum foram utilizados para cortar os *sprues* e a região alisada, totalizando-se 35 peças para a realização do teste, sendo cinco para cada um dos tratamentos propostos, sendo estes: a) jateamento e usinagem; b) jateamento, usinagem e jateamento; c) jateamento, usinagem, jateamento e degaseificação; d) jateamento, usinagem, jateamento, degaseificação e jateamento; e) jateamento, usinagem, jateamento, degaseificação, usinagem e jateamento; f) jateamento, usinagem, jateamento, degaseificação, usinagem, jateamento e degaseificação; g) jateamento, usinagem, jateamento, limpeza e degaseificação. Antes da aplicação da porcelana, todas as peças do teste foram limpas em ultra-som e água destilada por cinco minutos, certificando-se de que todas as partículas de óxido de alumínio e outros contaminantes fossem removidos. Três camadas de opaco e 2 mm de porcelana de corpo foram aplicadas seguindo as recomendações do fabricante. O ensaio mecânico de resistência e união foi realizado com velocidade de 1 mm/min, auxiliado por um dispositivo construído para o teste. Os autores observaram maiores valores de união no tratamento c, e os valores mais baixos foram encontrados no tratamento g, com fraturas coesivas da porcelana e larga quantidade de porosidade da porcelana perto da interface com o metal, diferentemente do teste c que apresentou falha adesiva entre metal e porcelana.

Hofstede et. al.³⁵ (2000) determinaram que a direção do acabamento do metal e a utilização de jateamento de óxido de alumínio influenciam na produção de porosidades na superfície do metal, o que

pode causar falhas com a união com a porcelana. Para isso, oitenta padrões (20 mm x 15 mm x 0,5 mm) de polietileno foram incluídos, fundidos em liga nobre pela técnica convencional, desincluídos, limpos e regularizados. As amostras foram divididas em quatro grupos iguais. O grupo A recebeu acabamento bidirecional com pontas montadas de óxido de alumínio, jateamento com óxido de alumínio de 50 μm à distância de 4,5 cm até completa eliminação das marcas de acabamento com broca. O grupo B recebeu tratamento semelhante ao grupo A, porém o acabamento foi unidirecional. Os grupos C e D seguiram os tratamentos, respectivamente dos grupos A e B, excluindo-se o jateamento. As superfícies do metal de cada amostra foram fotografadas em MEV, depois foram limpas e oxidadas em forno de porcelana antes de receber duas camadas de opaco e duas camadas de corpo na região central (10 mm x 15 mm x 1,5 mm), seguindo as recomendações dos fabricantes. Cada corpo-de-prova foi montado num bloco de resina acrílica, fixado com cera e cortado longitudinalmente em duas partes idênticas (20 mm x 7,5 mm x 1,5 mm) com disco diamantado. Uma das metades foi submetida ao ensaio de flexão de três pontos com velocidade de 0,5 mm/min e célula de carga de 500 kg. Após o ensaio, exame visual determinou o tipo de falha ocorrida, confirmando, posteriormente, por meio de MEV e EDS. Em cinco amostras de cada grupo, a outra metade foi seccionada na região central em fatias de 2,5 mm, obtendo-se quatro secções por amostra. Outras duas secções nas extremidades foram realizadas, descartando-as. Cada porção foi montada em resina, polida com papel de silicone de diferentes granulações, limpas e analisadas em microscopia. Observaram que os grupos A e B foram diferentes estatisticamente dos grupos C e D, com separação ocorrendo numa das extremidades da porcelana e com maiores valores de união, porém a direção de preparo do metal não influenciou no tamanho ou número de porosidades bem como na força de união.

Pecora e Yaman⁵⁸ (2002) compararam dois dispositivos para o ensaio de resistência de união por cisalhamento de três sistemas adesivos de frasco único e seus respectivos adesivos complementares. Um dos dispositivos era a faca e o outro foi um dispositivo criado pela Ultradent, o qual consistia de uma faca com entalhe, sendo que o corpo-de-prova possuía o mesmo diâmetro desse entalhe. O teste foi realizado numa máquina de ensaio universal (Instron) com velocidade constante de 0,5 mm/min. Os autores concluíram nesse estudo que a utilização do dispositivo criado pela Ultradent, apresentou resultados estatisticamente maiores e significantes em relação ao dispositivo faca (ISO).

Özcan⁵⁵ (2003) estudou as razões das fraturas das restaurações metalocerâmicas, relatando que as mesmas possuem alto índice de sucesso (95%) durante um período médio de 10-15 anos de utilização, sendo que as falhas ocorrem devido à problemas multifatoriais associados a diferentes razões. Segundo a autora, a falha não está associada a uma simples aplicação de estresse e sim a um efeito cumulativo de um grande número de pequenas cargas. Relatou ainda que as condições da cavidade oral, tais como a influência da água e a fadiga (causada pelo ciclo mastigatório), são considerados importantes fatores na durabilidade dessas restaurações, sendo que as razões mais freqüentes das falhas das cerâmicas se encontram nas pequenas trincas que ocorrem nas mesmas, as quais podem surgir devido a problemas clínicos (preparos incorretos) e laboratoriais como incorporação de bolhas de ar durante a condensação da cerâmica ou a problemas relacionados a sinterização. Essas falhas associadas às cargas funcionais, desencadeiam o processo de fratura da porcelana.

Na avaliação à resistência de união entre metal e cerâmica através do ensaio mecânico de cisalhamento, Pretti et al.⁶² (2004) utilizaram duas ligas de Co-Cr (Wirobond C – Bego e Remanium 2000 – Dentaurum) e uma cerâmica (Vita Omega 900 – Vita Zahnfabrik). Para este estudo foram confeccionados 11 corpos-de-prova cilíndricos

para cada liga utilizada, sendo que a porção metálica foi obtida por fundição pela técnica da cera perdida, através de enceramentos padronizados com 5 mm de altura por 4 mm de diâmetro. A aplicação da cerâmica foi realizada seguindo as recomendações do fabricante, com auxílio de uma matriz de teflon que permitiu sua padronização. Os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio mecânico de cisalhamento em máquina de ensaio universal (Emic DL 1000 – São José dos Pinhais – Brasil), com velocidade constante de 0,5mm/min e célula de carga de 100 kg. As médias da resistência obtida foram $48,38 \pm 17,71$ MPa para a liga Wirobond C e $55,95 \pm 17,19$ MPa para a liga Remanium 2000. Após a análise de variância, os autores concluíram que não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores de resistência ao cisalhamento das duas ligas metalocerâmicas.

Buso et al.¹³ (2004) compararam o efeito de quatro diferentes tratamentos superficiais do metal na união adesiva da interface metal-porcelana. A partir de padrões acrílicos calcináveis, 48 barras foram fundidas em liga de Co-Cr medindo 25 x 3 x 0,5 mm (ISO 9693) e divididas em quatro grupos iguais. Os tratamentos da liga foram: Grupo A: usinagem do metal + jateamento com óxido de alumínio + degaseificação; Grupo B: usinagem do metal + degaseificação + jateamento com óxido de alumínio; Grupo C: jateamento com óxido de alumínio + usinagem do metal + jateamento com óxido de alumínio + degaseificação; Grupo D: jateamento com óxido de alumínio + usinagem do metal + degaseificação + jateamento com óxido de alumínio. Com auxílio de uma matriz, duas camadas de opaco, duas de dentina e glaze foram aplicadas com 8 x 3 x 1 mm (ISO 9693). Teste de flexão de três pontos foi utilizado com $1,5 \pm 0,5$ mm/min (ISO 9693). Os valores de união (Kgf) metal-porcelana dos grupos foram: A: $1,58 \pm 0,0$; B: $1,52 \pm 0,16$; C: $1,63 \pm 0,14$; D: $1,55 \pm 0,12$. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p = 0,1938$). Os autores concluíram que os quatro tratamentos estudados

podem ser utilizados antes da aplicação da porcelana e a camada de óxido não alterou a resistência de união metal-porcelana.

Hilgert³⁴ (2005) estudou a resistência ao cisalhamento entre três ligas: Au-Pd (Olympia, Jelenko, USA), Co-Cr (Wirobond C, Bego, Germany) e Ni-Cr (Wiron 99, Bego, Germany), com e sem ciclagem térmica e mecânica. Pela técnica da cera perdida, foram confeccionados trinta corpos-de-prova para cada liga, com 4x4mm de estrutura metálica e 4x4 mm de estrutura cerâmica. Os valores médios de resistência de união obtidos para os grupos sem/com ciclagem foram: 66,02±9,51 /59,77±23,34MPa para Au-Pd; 85,27±13,07/ 76,27±15,77MPa para Co-Cr e 76,18±13,61/74,67±22,66MPa para Ni-Cr. Não houve influência das ciclagens nos três grupos, porém, no fator liga metálica, o grupo Au-Pd diferiu estatisticamente do Co-Cr e Ni-Cr.

Kojima et al.⁴¹ (2005) comparou o efeito de três dispositivos para cisalhamento (ISO, Fita e Pistão), verificando a distribuição de tensões, por análise de elementos finitos e, o aspecto morfológico da região de fratura, por MEV. Pela técnica da cera perdida, foram obtidos 12 corpos-de-prova para cada grupo, com 4x4mm de estrutura metálica e 4x4 mm de estrutura cerâmica. Foi utilizada a liga de Ni-Cr Wiron 99 e a cerâmica Vita Omega 900. Os valores médios de resistência de união obtidos para os grupos foram: ISO – 38,74±7,62; Fita – 23,34±4,21; Pistão – 58,16±14,84. Os cálculos das tensões pela análise de elementos finitos confirmaram a presença de grande concentração de tensão no teste de resistência ao cisalhamento preconizado pela norma ISO, seguido pelo teste da fita e com uma distribuição melhor e mais homogênea para o dispositivo pistão. O estudo mostrou que o dispositivo pistão obteve melhores resultados do que os métodos convencionais ISO 11405 e fita. No teste realizado com o cinzel, ocorreu a fratura inicialmente na cerâmica, na região onde havia o contato do cinzel. Pequenas ilhotas de cerâmica permaneceram sobre o metal na região onde ocorreu o carregamento, caracterizando uma fratura coesiva. No

teste realizado com a fita, grandes quantidades de ilhotas de cerâmica, quando comparado com os outros grupos, permaneceram sobre o metal (fratura em meia lua), indicando uma falha coesiva. Esta característica pode ser explicada pela existência de uma alavanca no momento deste teste, além da ocorrência de deformação da fita de aço. No teste realizado com o pistão foi observada, em alguns corpos-de-prova, uma fina quantidade de opaco, demonstrando que houve uma melhor distribuição das forças e melhor capacidade de avaliação da interface de união; desta forma, os tipos de falhas foram classificadas como adesivas.

Jóias³⁹ (2005) avaliou a resistência ao cisalhamento na interface de união entre cinco ligas de Co-Cr (IPS d.SIGN20 e IPS d.SIGN30 – Ivoclar Vivadent; Remanium 2000 – Dentaurum; Heranium P – Heraeus Kulzer; Wirobond C – Bego) e cerâmica (Vita Omega 900 – Vita), comparados com um grupo controle com liga à base de ouro-paládio (Olympia - Jelenko) e cerâmica (Vita Omega 900 – Vita). Foram confeccionados sessenta corpos-de-prova cilíndricos (4mm x 9mm), sendo dez para cada liga. O ensaio de cisalhamento foi realizado em máquina de ensaio universal (Emic L 2000, Brasil), com célula de carga de 1000Kg, à velocidade de 0,5mm/min, utilizando um dispositivo específico. Após o ensaio, foi realizada a análise da interface por lupa estereoscópica (Stemi 2000C – Carl Zeiss), com aumento de 25X. Foram observados os seguintes valores médios de resistência de união: 61,42±7,78 MPa para Olympia-G1; 94,00±18,89 MPa para IPS 20-G2; 96,82±10,17 MPa para IPS 30-G3; 75,12±12,37 MPa para Remanium-G4; 71,18±14,30 MPa para Heranium P-G5; 63,17±10,86 MPa para Wirobond C-G6. Os dados foram submetidos aos testes de ANOVA (5%) e Tukey. Concluiu-se que os grupos G2 e G3 apresentaram os maiores valores de resistência ao cisalhamento, sendo estatisticamente semelhantes e que os grupos G1, G4, G5 e G6 apresentaram os menores valores, sendo estatisticamente semelhantes entre si, e diferentes dos grupos G2 e G3.

Mello et al.⁵¹ (2005) avaliaram a resistência ao cisalhamento entre quatro ligas metálicas alternativas e um sistema cerâmico. A cerâmica utilizada no estudo foi a IPS d.Sign 20 (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein). Foram utilizadas as ligas de Ni-Cr 4ALL (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) e Wiron 99 (Bego, Bremen, Germany), e as ligas de Co-Cr IPS d. SIGN 20 (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) e Argeloy NP (Argen Corp, San Diego, USA). Usando a resina acrílica Duralay (Reliance Dental Co, Worth, USA), foram confeccionadas oito barras de 30 cm de comprimento x 5 mm de diâmetro. As barras foram posicionadas em anéis de silicone (CNG, Brasil), que foram preenchidos com revestimento Rematitan Plus (Dentaurum, Germany). Para a fundição das ligas de Ni-Cr e Co-Cr foi utilizado, como fonte de calor, um maçarico para gás liquefeito de petróleo e oxigênio. Após a fundição, as barras foram usinadas em um torno mecânico (Modelo TB 130, Indústria de Máquinas Nardini, Brasil), para se obter as estruturas metálicas dos corpos-de-prova (base de 5 mm de diâmetro x 1 mm de altura e corpo de 4 mm de diâmetro x 4 mm de altura). Foram obtidas 11 estruturas metálicas para cada uma das ligas estudadas, que foram jateadas com óxido de alumínio 100 µm por dez segundos, a 2 cm de distância, 2 bar de pressão e a um ângulo de 45°. Na seqüência, foram limpas com detergente (Limpol Gel-Bombril S/A-Brasil) e água, colocadas em álcool isopropílico por 15 minutos, e secas em papel absorvente. Sem oxidação prévia, foi aplicada uma camada de opaco em pasta (diluído com o líquido do sistema IPS d.Sign (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) para se obter a consistência ideal, e sinterizada no forno Vacumat 40 (Vita, Germany). Após o esfriamento, foi realizada a segunda camada de opaco. Para a primeira camada de cerâmica, foi utilizado um dispositivo de teflon com dez perfurações de 4 mm x 4 mm. Após a sinterização, houve a contração da cerâmica, e para compensar esta contração, foi realizada a segunda camada de opaco, visando a obtenção da porção cerâmica na medida de 4 mm x 4 mm. Para

o ensaio de cisalhamento, foi utilizado um dispositivo de aço cilíndrico, com duas peças independentes, e uma máquina de ensaio universal Instron 4301 (Canton, USA), com célula de carga de 1000 kgf, e velocidade de 1 mm/min de carga de compressão. Após o ensaio foram obtidas as seguintes médias de resistência de união: $54,0 \pm 20,0$ MPa para a liga 4ALL e $63,0 \pm 13,5$ Mpa para a liga Wiron (ligas de Ni-Cr), e $71,7 \pm 19,2$ MPa para a liga IPS d.Sign 20 e $55,2 \pm 13,5$ MPa para a liga Argeloy (ligas de Co-Cr). Os espécimes fraturados foram examinados em lupa estereoscópica Stemi 2000-C (Carl Zeiss, Germany). Foram encontradas falhas adesivas e coesivas. Um espécime de cada liga não foi submetido ao teste de cisalhamento e foi analisado em microscópio eletrônico de varredura. Concluíram que não houve diferença estatística entre as quatro ligas e a cerâmica estudada e que, a liga IPS d.Sign 20, desenvolvida para o sistema cerâmico IPS d.Sign, não apresentou valores diferentes das outras três ligas estudadas.

Devido ao contínuo avanço tecnológico e crescente disponibilidade de novas ligas não-nobres e sistemas cerâmicos no mercado, tornou-se necessária a constante avaliação da resistência de união entre meta e porcelana. Sendo assim, Prado et al.⁶¹ (2005) avaliaram a resistência de união de três sistemas cerâmicos (Duceram, Williams e Noritake) em combinação com três ligas de Ni-Cr (Durabond, Verabond e Viron) por meio de ensaio mecânico de cisalhamento. Trinta cilindros de cera (15 mm de altura; 6 mm de diâmetro) foram fundidos para cada liga, sendo $n=10$ para cada liga e cerâmica. Após a fundição, os padrões metálicos foram jateados com óxido de alumínio com partículas de 50 μm e lavados em ultra-som com água destilada por 10 minutos. A cerâmica foi aplicada de acordo com as recomendações de cada fabricante. O ensaio de cisalhamento foi realizado em uma máquina de ensaio universal (Emic MEM 2000 – São José dos Pinhais – Brasil) com velocidade constante de 0,5mm/min. até ocorrer a fratura. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente pelo teste não paramétrico de

Mann-Whitney U com 5% de significância. Os autores puderam concluir que a combinação da liga Viron com a cerâmica Noritake apresentou maior resistência ao cisalhamento em comparação às outras combinações.

Fernandes Neto et al.²⁵ (2006) avaliaram a resistência de união ao cisalhamento entre metal e porcelana. Para isso, utilizaram três sistemas cerâmicos (Vita VMK 88, Williams e Duceram), três ligas de Ni-Cr (Durabond, Lite Cast e Resistal P) e uma liga de Co-Cr-Ti. Padrões cilíndricos de cera foram (15 mm x 6 mm) fundidos pela técnica da cera perdida, trinta para cada tipo de liga. Após a fundição, os padrões metálicos foram resfriados bruscamente em água, separados dos *sprues* e limpos com jateamento com óxido de alumínio 50 µm para eliminar toda contaminação. As cerâmicas foram aplicadas de acordo com seus respectivos fabricantes por meio de um molde de 8,4 mm x 3 mm. Após a sinterização, os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio mecânico de cisalhamento em uma máquina de ensaio universal (Emic MEM 2000, São José dos Pinhais, Brasil) com velocidade constante de 0,5 mm/min. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente pelos testes de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney U ($p < 0,05$). Através dos resultados estatísticos obtidos, os autores puderam concluir que a resistência de união entre metal e porcelana está relacionada à correta seleção da liga para cada sistema cerâmico, sendo que a combinação entre Co-Cr-Ti com o sistema cerâmico Williams teve resistência ao cisalhamento significativamente maior que as demais combinações.

Lombardo et al.⁴⁶ (2007) estudaram a influência de um agente de união à base de ouro (Golden Plate, Nobil, Itália), na resistência de união ao cisalhamento, entre uma liga de titânio c.p. e uma cerâmica específica. Para esse estudo, os autores utilizaram 30 padrões metálicos medindo 5mm de altura por 4mm de diâmetro (ISO 11405). Destes, 20 eram de titânio c.p. e 10 eram de uma liga áurica contendo paládio (Grupo controle). Todos os padrões metálicos foram jateados com

óxido de alumínio (250 μm) numa distância de 3 cm durante 20 segundos. Em seguida foram colocados em álcool isopropílico e limpos em ultra-som por 10 minutos para remover os excessos de óxidos e gordura das mãos. Nesse momento os padrões metálicos foram manipulados com pinça, para se evitar a contaminação de suas superfícies. Para todos os grupos, a cerâmica específica foi aplicada de acordo com as recomendações do fabricante. Os grupos (n=10) eram: Grupo 1 (Gr1): Au-Pd + Vita Omega 900 (Vita Zahnfabrik, Germany); Grupo 2 (Gr2): Titânio c.p (Tritan – Dentaurum) + cerâmica Triceram (Dentaurum) e Grupo 3 (Gr3): Titânio c.p. (Tritan – Dentaurum) + agente de união (Golden Plate, Nobil, Italy) + Triceram. Após a aplicação da cerâmica, através de um dispositivo de teflon, os corpos-de-prova foram mantidos em água destilada a 37°C por 24 horas para posteriormente serem submetidos ao ensaio mecânico de cisalhamento em uma máquina de ensaio universal (Emic DL 1000 – São José dos Pinhais – Brasil) com carga de 100 kg e velocidade constante de 1,0 mm/min. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística não paramétrica de Kruskal-Wallis e ao teste de Dunn (5%). As médias e desvios padrão dos grupos foram: Gr1(63,5 \pm 7,3 MPa), Gr2 (44,4 \pm 12,8 MPa) e Gr3 (3,3 \pm 1,2 MPa). Sendo assim os autores concluíram que o agente de união não melhorou a resistência de união ao cisalhamento entre a cerâmica específica e a liga de titânio c.p.

3 PROPOSIÇÃO

Avaliar a influência de dois tipos de tratamentos superficiais do metal na resistência de união entre uma liga de cobalto-cromo e duas cerâmicas, por meio do ensaio de cisalhamento.

4 MATERIAL E MÉTODO

Os materiais, características, composição e fabricantes dos mesmos, empregados na pesquisa, estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Materiais empregados, características/composição e fabricantes.

Material	Características / Composição em %	Fabricante
Barra Acrílica	Resina Acrílica	Tigre S.A.
Revestimento Fosfatado Bellavest SH	Quartzo e cristobalita (60-90%), dihidrogenofosfato de amônia (5-15%), óxido de magnésio (5-15%), óxido de alumínio (0-30%), óxido de zinco, óxido de titânio e grafite (0-4%)	Bego, Germany
StarLight Ceram	Cerâmica de alta fusão	DeguDent, Germany
DuceramKiss	Cerâmica de alta fusão	DeguDent, Germany
StarLoy C	Liga de Co-Cr: Co 59,4/ Cr 24,5/ W 10/Mo 1,0/Nb 2,0/ V 2,0/ Si 1,0/ Fe 0,1	DeguDent, Germany
Ponta de Tungstênio (maxi-cut)	Carbonato de tungstênio	Edenta AG, Suíça

As propriedades físicas das cerâmicas e da liga utilizadas estão descritas no Quadro 2.

Quadro 2 – Propriedades físicas da cerâmica e das ligas utilizadas.

Material	Densidade	Temp. fundição	CET 20-600°C
StarLoy C	8,8 (g/cm ³)	1270°-1370°C	14,0-500 µm/m·K
StarLight Ceram	7,8 (g/cm ³)	1345°C	13,0 µm/m·K(25- 500°C)
Duceram Kiss	7,9 (g/cm ³)	1345°C	13,8 µm/m·K 10 ⁻⁶ K ⁻¹

4.1 Confeção dos corpos-de-prova

A confeção dos CP metalocerâmicos foi subdividida em três fases: estrutura metálica, tratamento superficial e aplicação do revestimento cerâmico.

4.1.1 Estrutura metálica

Para realizar a padronização dos padrões para a fundição, foi utilizada uma barra cilíndrica de acrílico com 100 mm de comprimento por 6 mm de diâmetro, que foi usinada obedecendo à padrões pré-determinados em um torno mecânico. Após todo o procedimento, foram obtidos 60 padrões de acrílico, seguindo as recomendações da norma ISO 11405, com as seguintes dimensões: padrão cilíndrico com diâmetro diferenciado entre as extremidades; a extremidade maior com 5 mm de diâmetro por 1 mm de altura, e a menor, 3,7 mm de diâmetro por 3,7 mm de altura, totalizando 4,7 mm de altura (Figura 1).

As estruturas metálicas foram obtidas pela técnica de fundição por indução dos corpos de prova em acrílico (Figura 2).

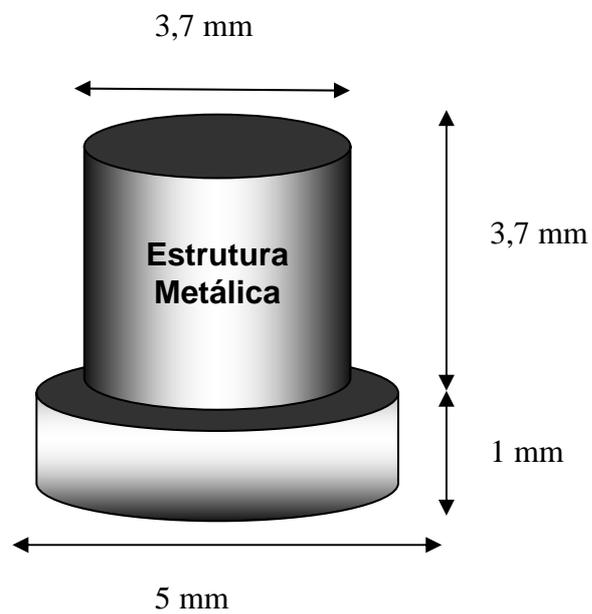


FIGURA 1 - Desenho esquemático do padrão acrílico.



FIGURA 2 - Padrão acrílico confeccionado por usinagem.

Para se calcular a quantidade mínima de liga necessária para a fundição, o conduto de alimentação + padrões de acrílico foram pesados por meio da seguinte fórmula:

$$\text{Massa da liga para fundição (g)} = \text{peso da amostra em acrílico} \times \text{densidade da liga metálica} = 8,8 \text{ g/cm}^3$$

Após o cálculo da massa da liga, o conduto de alimentação foi fixado na base formadora de cadinho e aplicado por aspersão o redutor de tensão superficial Waxit (Degussa, Brasil).

Seis anéis de silicone foram utilizados para a inclusão dos padrões em revestimento. Na base formadora de cadinho de cada anel foi fixado um conduto de alimentação com 3 mm de diâmetro, no qual foram unidos 10 padrões em acrílico, por meio de um conector (canal de alimentação) de 1,5 mm de diâmetro.

A inclusão foi realizada com o revestimento fosfatado Bellavest SH (Bego, Germany), seguindo a proporção indicada pelo fabricante (100 g de pó/25 ml de líquido). Após espatulação manual por 15 segundos, foi realizada espatulação mecânica e a vácuo (20 psi) por 30 segundos com 425 rpm, na espatuladora Polidental A300 (Polidental, Brasil). Após 10 minutos do término da inclusão de cada anel, foi removida a base formadora de cadinho e o anel de silicone (Figura 3).

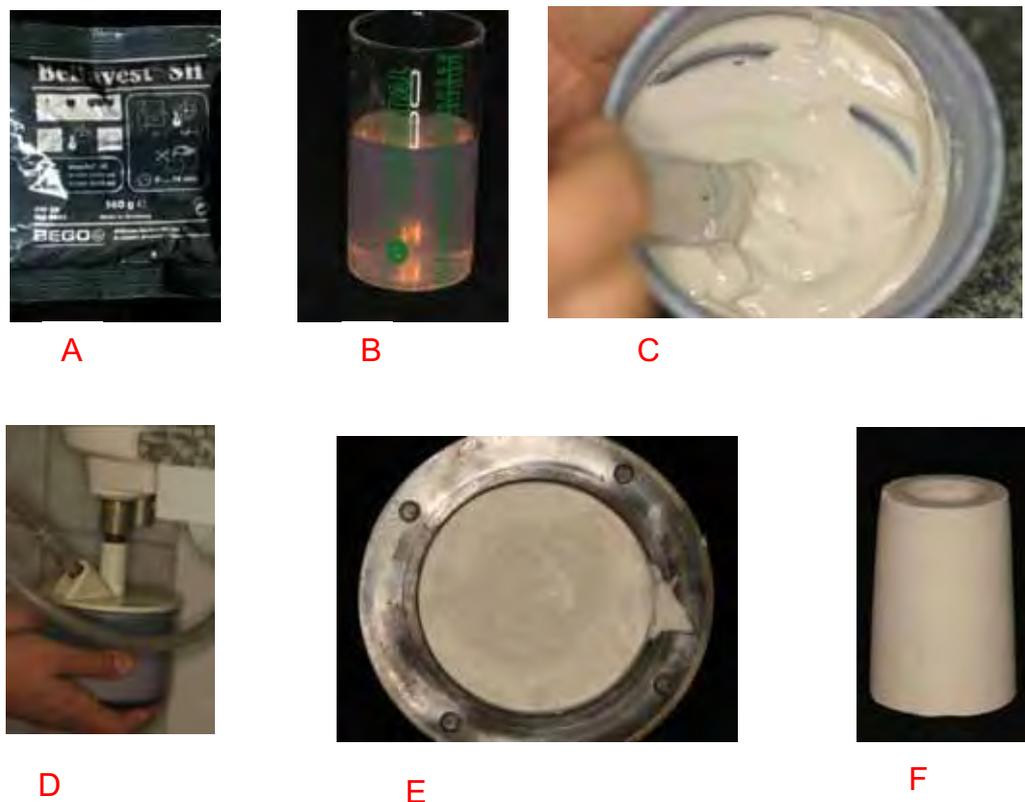


FIGURA 3 - Seqüência de inclusão dos padrões acrílicos: a e b) pó e líquido do revestimento Bellavest SH; c) espatulação manual; d) espatulação mecânica e à vácuo; e) preenchimento do anel de silicone com o revestimento; f) anel de revestimento, após remoção da base formadora de cadinho e do anel de silicone.

Seguindo a orientação do fabricante, vinte minutos após o término da inclusão, os anéis de revestimento foram colocados no forno para fundição, já pré-aquecido, à temperatura de 900°C, e mantidos por 30 min à temperatura de 900°C. Após esse período, foram realizadas as fundições por indução na máquina Ducatron Série 3 – (Ugin Dentaire, França).

Após o esfriamento dos blocos de revestimento à temperatura ambiente, foi feita a desinclusão e jateamento com óxido de alumínio virgem com partículas de 110 µm de granulação, com 30 libras de pressão (Figura 4 e 5).

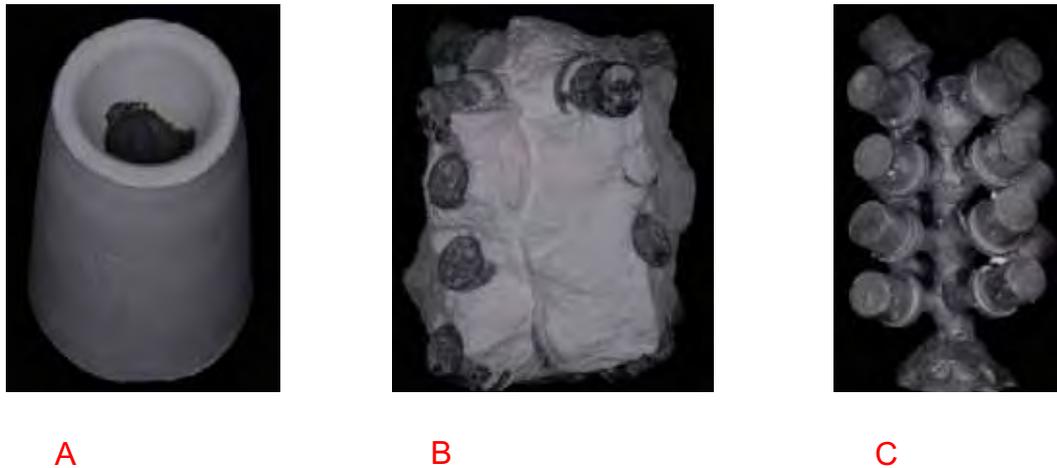


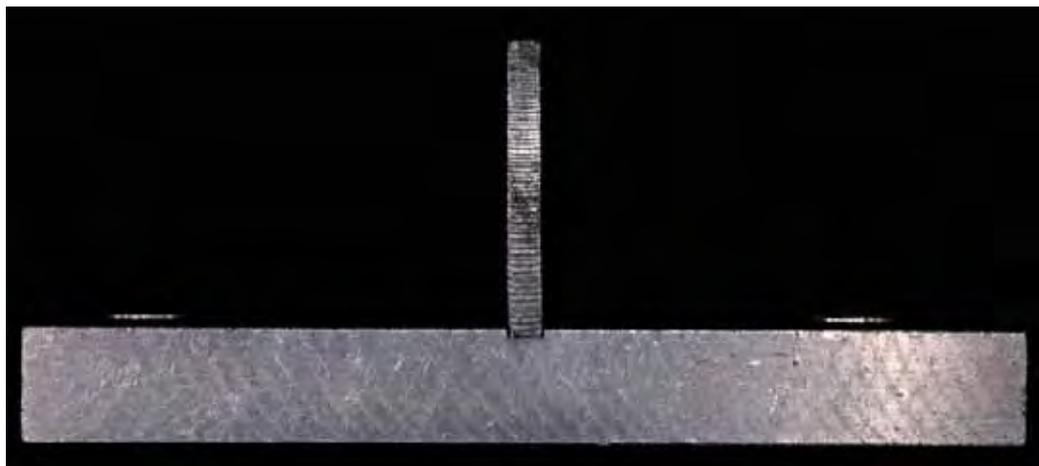
FIGURA 4 - Remoção do revestimento e jateamento parcial dos padrões metálicos: a) anel de revestimento após esfriamento até a temperatura ambiente; b) fratura parcial do revestimento com martelo de borracha; c) jateamento parcial com óxido de alumínio, com baixa pressão.



FIGURA 5 - Estrutura metálica do cp após jateamento total com óxido de alumínio.

As estruturas metálicas dos corpos-de-prova foram separadas do canal de alimentação com disco de diamante sinterizado e as dimensões aferidas com paquímetro, posicionando-os isoladamente no

orifício do dispositivo utilizado para o ensaio de cisalhamento, que será descrito posteriormente (Figura 6).



A



B

FIGURA 6 - Apresentação do dispositivo e adaptação do padrão metálico: a) dispositivo de cisalhamento; b) estrutura metálica do cp adaptada ao orifício do dispositivo.

4.1.2 Tratamento superficial do metal

Antes de iniciar a aplicação do revestimento estético, vinte e quatro estruturas metálicas foram novamente jateadas, na extremidade menor, com partículas de óxido de alumínio virgem de 50 μm , durante 10 segundos, à distância aproximada de 2 cm, pressão de 80 libras (Figura 7). Os demais 24 padrões metálicos receberam o tratamento superficial em sua extremidade menor, com ponta de tungstênio nova, cilíndrica e de corte fino (Maxi-cut - Edenta) (Figura 8). Para o tratamento superficial em questão, foi adaptado um micro-motor em máquina de corte e os padrões metálicos foram posicionados de forma que suas superfícies ficassem paralelas à ponta de tungstênio, sendo o tratamento realizado em uma única direção (Figura 9). Esse tratamento de superfície teve um tempo de aplicação de 10 segundos, sendo este padronizado por um cronômetro.

A seguir, os 48 padrões metálicos foram lavados em ultra-som (Vitasonic II, Vita, Germany) com álcool isopropílico 10%, por 10 minutos. A partir desta etapa, os padrões metálicos foram manipulados com o auxílio de uma pinça clínica, para evitar a contaminação da superfície.



FIGURA 7 - Padrão metálico após o tratamento superficial com jateamento com óxido de alumínio.



FIGURA 8 - Ponta de tungstênio (Maxi-Cut, Edenta).

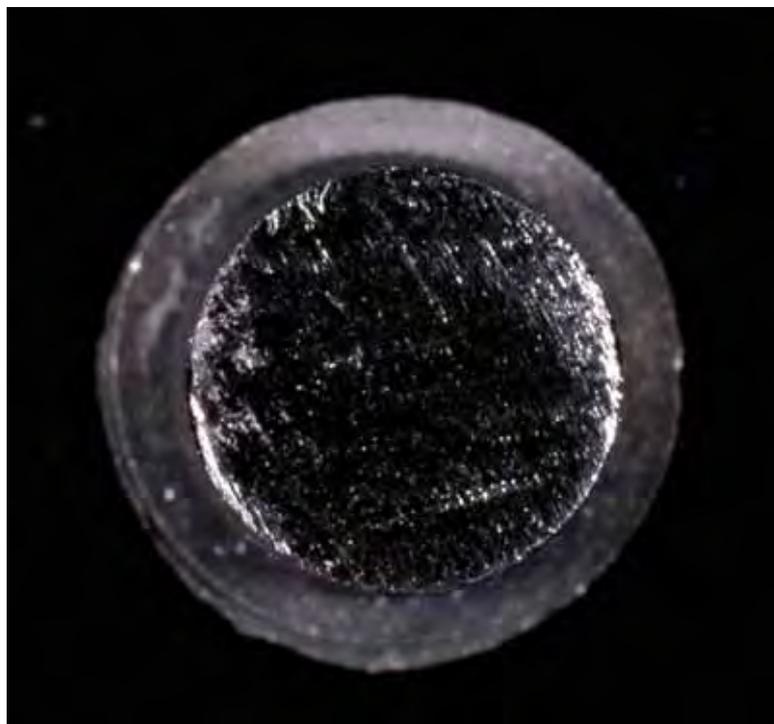


FIGURA 9 - Padrão metálico após o tratamento superficial com ponta de tungstênio (Maxi-Cut, Edenta).

Após lavagem em ultra-som e posterior secagem do álcool ao ar livre, os padrões metálicos foram divididos aleatoriamente em quatro grupos, a saber, (n=12):

- Grupo 1 (G1) – superfície metálica jateada com óxido de alumínio + StarLight Ceram;
- Grupo 2 (G2) – superfície metálica tratada com ponta de tungstênio + StarLight Ceram;
- Grupo 3 (G3) – superfície metálica jateada com óxido de alumínio + Duceram Kiss;
- Grupo 4 (G4) – superfície metálica tratada com ponta de tungstênio + Duceram Kiss.

4.1.3 Aplicação do revestimento cerâmico

Todas as fases de sinterizações do revestimento cerâmico foram realizadas no forno Vacumat 40 (Vita, Germany).

As especificações dos programas utilizados para as sinterizações, seguiram as recomendações dos fabricantes e estão descritas nos Quadros 3 e 4.

Foram utilizados opacos em pasta compatíveis com cada sistema cerâmico (Figura 10 A e B), sendo aplicados em duas camadas distintas com auxílio de um pincel, abrangendo a extremidade de 3,7 mm de diâmetro das estruturas metálicas, para ambos sistemas cerâmicos (Figuras 11 e 12). Neste momento, não foi permitido que o opaco ultrapassasse o limite dos 3,7 mm de diâmetro, pois caso contrário, o corpo-de-prova não se adaptaria ao dispositivo de cisalhamento. Entre as sinterizações das camadas de opaco, os corpos-de-prova foram esfriados até a temperatura ambiente.

Quadro 3 - Ciclos de sinterizações da Cerâmica StarLight Ceram.

Cerâmica	Pré-aquecimento °C	Queima Min.	Taxa de Elevação	Temperatura Final °C	Manutenção Min.
Opaco 1	575°C	7	55	980°C	2
Opaco 2	575°C	7	55	950°C	2
Dentina	575°C	6	55	910°C	1
Dentina Corretiva	575°C	4	55	900°C	1

Quadro 4 - Ciclos de sinterizações da Cerâmica Duceram Kiss.

Cerâmica	Pré-aquecimento °C	Queima Min.	Taxa de Elevação	Temperatura Final	Manutenção Min.
Opaco 1	575°C	7	55	930°C	2
Opaco 2	575°C	7	55	930°C	2
Dentina	575°C	6	55	910°C	1
Dentina Corretiva	575°C	4	55	880°C	1



A



B

FIGURA 10 - Apresentação das cerâmicas opacas: a) opaco em pasta StarLight Ceram; b) opaco em pasta Duceram Kiss (DeguDent, Germany).



A



B

FIGURA 11 – Camada de opaco: a) aplicação da primeira camada do opaco pasta StarLight (DeguDent, Germany); b) estruturas metálicas após sinterização.



A



B

FIGURA 12 – Camada de opaco: a) aplicação da primeira camada do opaco pasta Duceram Kiss (DeguDent, Germany); b) estrutura metálica após sinterização.

A segunda queima do opaco também foi realizada seguindo também as recomendações do fabricante.

Após a sinterização da segunda camada de opaco, foram aplicadas em duas etapas, as cerâmicas para cada sistema (Figura 13 e 14). Foi utilizado um dispositivo específico para compactar a cerâmica, o qual constava de duas partes distintas: parte 1 consistia de um retângulo de *teflon*, tendo ao centro, quatro perfurações de 3,7 mm de diâmetro por 4 mm de altura cada e parte 2, constituída de uma superfície metálica onde o padrão metálico ficou apoiado, permitindo que o mesmo tangenciasse a perfuração da parte 1 para a aplicação da cerâmica (Figura 15).



FIGURA 13 - StarLight Ceram (DeguDent, Germany).



FIGURA 14 - Duceram Kiss (Degudent, Germany)



FIGURA 15 – Dispositivo para aplicação das camadas de cerâmica.

A primeira etapa da aplicação da cerâmica de dentina foi aplicada sobre as estruturas metálicas opacificadas em pequenas camadas, com auxílio de uma espátula para cerâmica, sendo condensada

por meio de ligeiros movimentos vibratórios, até que fosse preenchido o dispositivo de *teflon*. O excesso de líquido da superfície foi removido com um lenço de papel. Após a secagem, o conjunto estrutura metálica e cerâmica foi removido do *teflon* com auxílio do êmbolo metálico (Figura 16 e 17). Após a remoção, o excesso de cerâmica de dentina ao redor da estrutura metálica foi limpo com pincel e a sinterização para cada sistema cerâmico foi realizada segundo as recomendações do fabricante, descritas nos Quadros 3 e 4.



FIGURA 16 - Êmbolo metálico utilizado para remover o corpo-de-prova do dispositivo de *teflon*.



FIGURA 17 - Corpo-de-prova após a remoção do dispositivo de *teflon*.

Após a sinterização da primeira camada de cerâmica (Figura 18), foi necessária uma aferição dimensional, para avaliar se os corpos-de-prova adaptavam no dispositivo para cisalhamento. Caso contrário, pequenos ajustes foram realizados com ponta de óxido de alumínio. Para corrigir a contração de sinterização, foi aplicada uma segunda camada de dentina.



FIGURA 18 - Corpo-de-prova após sinterização da primeira etapa de cerâmica de dentina.

O dispositivo de *teflon* foi utilizado novamente para a aplicação da segunda etapa da cerâmica, em virtude da contração sofrida pela cerâmica durante a sinterização da primeira etapa. A mistura cerâmica e líquido foi menos consistente do que na primeira etapa, para permitir um bom preenchimento do espaço que ficou entre o dispositivo de *teflon* e a primeira camada. O mesmo procedimento para a aplicação da camada inicial foi realizado para a segunda aplicação, sendo que após a remoção do conjunto (Figura 19), foi limpo o excesso de cerâmica ao redor da estrutura metálica, e realizada a segunda sinterização de acordo com a descrição nos Quadros 3 e 4.



FIGURA 19 - Corpo-de-prova pronto para a segunda sinterização.

Após o esfriamento da segunda sinterização, foi necessária uma aferição dimensional, para avaliar se os corpos-de-prova adaptavam no dispositivo para o ensaio de cisalhamento. Quando necessário, foi realizado um pequeno ajuste no limite metal-cerâmica, com ponta de óxido de alumínio (Figura 20).

4.2 Ensaio mecânico de cisalhamento

Para o ensaio mecânico utilizamos o dispositivo de cisalhamento tipo faca (com entalhe – Figura 21) e o dispositivo para segurar o corpo-de-prova em posição durante o ensaio, o qual foi fixado na parte inferior da máquina para ensaio universal EMIC (modelo DL 1000 - São José dos Pinhais - Brasil), enquanto o dispositivo faca com entalhe

ficou acoplado na extremidade superior. Para este ensaio mecânico foi utilizado um célula de carga de 100 kgf a uma velocidade constante de 0,5 mm/min até a fratura da amostra, obtendo-se assim, o valor máximo da carga, em MPa, suportada pela interface metal/porcelana (Figura 22).



FIGURA 20 - Corpo-de-prova após a segunda sinterização e pronto para o ensaio mecânico de cisalhamento.



FIGURA 21 - Dispositivo faca com entalhe.

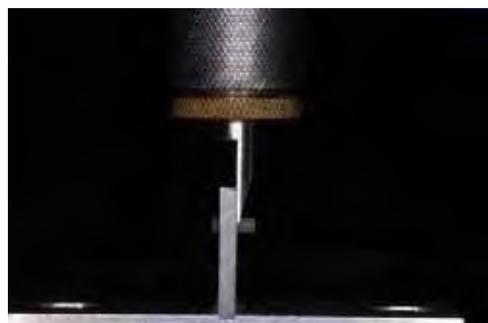
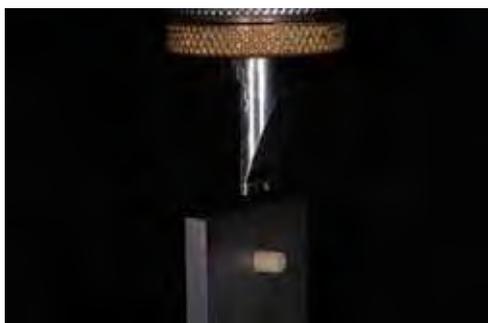


FIGURA 22 - Ensaio mecânico de cisalhamento.

4.3 Análise de fratura em estereomicroscópio

Com a finalidade de analisar o tipo de fratura obtido após o ensaio de cisalhamento e a visualização das partes constituintes das amostras, foi realizada uma análise em um estereomicroscópio (Stemi 2000-C; Carl Zeiss, Gottingen – Alemanha, 30 X de aumento) e as imagens foram registradas por uma câmera (Zeiss Microscope MC-Camera System; Carl Zeiss) acoplada ao aparelho.

4.4 Análise da interface de união por microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Dois corpos-de-prova adicionais de cada grupo foram confeccionados, e reservados para a realização das leituras da interface metal/cerâmica. As amostras foram embutidas em resina acrílica epóxi incolor com a finalidade de dar maior estabilidade ao conjunto para posterior secção longitudinal. Realizou-se o acabamento das amostras, com a utilização de lixas de maior granulação e finalizando com as de menor granulação (200, 400, 600, 800 e 1200) em máquina lixadora (Knuth- Rotor/300-RUM, Dinamarca); seguidos de seu polimento em uma politriz mecânica (POLI PAN-2/PANAMBRA, Brasil) com pasta de diamante de 6, 3, e 0,25 μ m. Entre cada seqüência de polimento colocou-se o corpo-de-prova mergulhado em ultra-som durante 5 minutos.

A análise das interfaces de união entre metal e cerâmica foram observadas por meio do microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo LEO 435 VPi, Zeiss, Alemanha, equipado com software digital para captura das imagens dessas interfaces. Não foi necessária

aplicação de cobertura condutora em ouro nas amostras, pois nesse equipamento esta análise é realizada sob a condição de vácuo variado.

4.5 Análise química via MEV+EDS

A análise dos elementos químicos presentes na interface de união foi feita utilizando a técnica de EDS (Espectrometria por Energia Dispersiva de Raios X ou *Energy Dispersive Spectrometry* – EDS). A técnica EDS é baseada na análise das energias características de raios X emitidos por cada elemento componente de uma amostra, como resultado da incidência de um feixe de elétrons na superfície desta amostra em análise. O espectrômetro EDS está acoplado ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) utilizado para as análises.

A microanálise de raios X foi realizada na interface metal/cerâmica das amostras de cada grupo utilizando-se um MEV modelo LEO 435 VPi, Zeiss, Alemanha, e utilizando-se o sistema EDS da Oxford, Inglaterra, com programa INCA *Energy*.

5 RESULTADOS

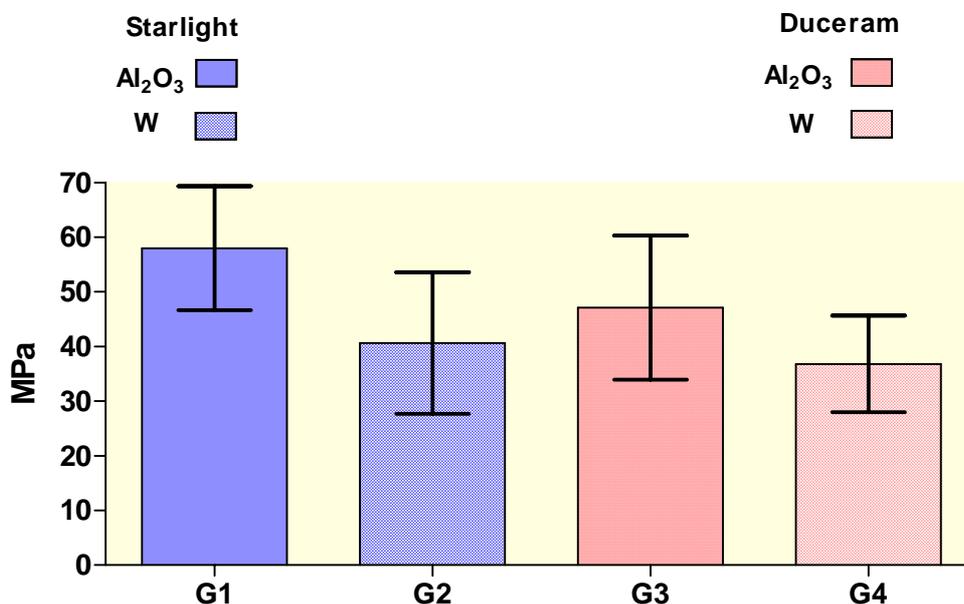
5.1 Ensaio de cisalhamento

Os valores originais obtidos de resistência de união para cada unidade experimental a partir do ensaio de cisalhamento, são apresentados no Apêndice A.

A estatística descritiva dos dados obtidos no teste de cisalhamento é apresentada na Tabela 1 e representada pelo gráfico (Figura 23), observando-se os valores de média e desvio padrão.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos dados do ensaio de cisalhamento (MPa).

Estatística	G1 StarLight Ceram (Al₂O₃)	G2 StarLight Ceram + W	G3 Duceram Kiss (Al₂O₃)	G4 Duceram Kiss + W
N	12	12	12	12
Média	57,97	40,62	47,09	36,80
Desvio Padrão	11,34	12,96	13,19	8,86
Coeficiente de Variância (%)	19,55	31,91	28,02	24,06
Mínimo	41,37	20,31	24,94	17,01
Máximo	76,10	68,15	63,00	44,73



FIGUR 23 - Gráfico de colunas (média \pm desvio padrão) dos dados de cisalhamento obtidos no ensaio de cisalhamento em 12 cps.

Para avaliar o relacionamento entre a cerâmica e o tipo de tratamento superficial nos valores de resistência ao cisalhamento, aplicou-se o modelo da ANOVA (2 fatores), tabela 2, após serem avaliadas as suposições do modelo de análise de variância.

Os valores resíduos, decorrentes do ajuste do modelo adotado, foram examinados para avaliar a adequabilidade do modelo para válidas inferências estatísticas e foi determinado que os dados originais propiciaram um adequado ajuste, porque os valores residuais se ajustam a uma distribuição normal de probabilidade, e, ainda foi verificada a uniformidade dos resíduos (homocedasticidade) por meio do gráfico dos valores resíduo em relação aos valores ajustados.

Tabela 2 - ANOVA (2 fatores) para os dados de cisalhamento (MPa) obtidos.

Efeito	gl	SQ	QM	F	p
Cerâmica	1	647,90	647,90	4,72	0,0352*
§	1	2291,77	2291,77	16,70	0,0002*
Interação	1	150,06	150,06	1,09	0,3014
Resíduo	44	6038,46	137,24		
Total	47	9128,19			

p < 0,05

Por meio da Tabela ANOVA se verifica que os efeitos principais são estatisticamente significantes (Cerâmica: $p = 0,0352 < 0,05$ e §: $p = 0,0002 < 0,05$).

Assim, pode-se estabelecer que o grupo Starlight Ceram ($49,29 \pm 14,85$ MPa) supera o Duceram Kiss ($41,95 \pm 12,18$ MPa) em termos de resistência ao cisalhamento e o tratamento com óxido de alumínio ($52,53 \pm 13,25$ MPa) supera o tratamento com o tungstênio ($38,71 \pm 11,03$ MPa).

A Tabela 2 mostra que o efeito interação não é estatisticamente significativo. Pode-se observar, por meio do gráfico de médias, Figura 24, que o aumento de resistência que se obtém do tungstênio para o óxido de alumínio na cerâmica Duceram Kiss é um valor próximo ao aumento obtido para a cerâmica Starlight Ceram.

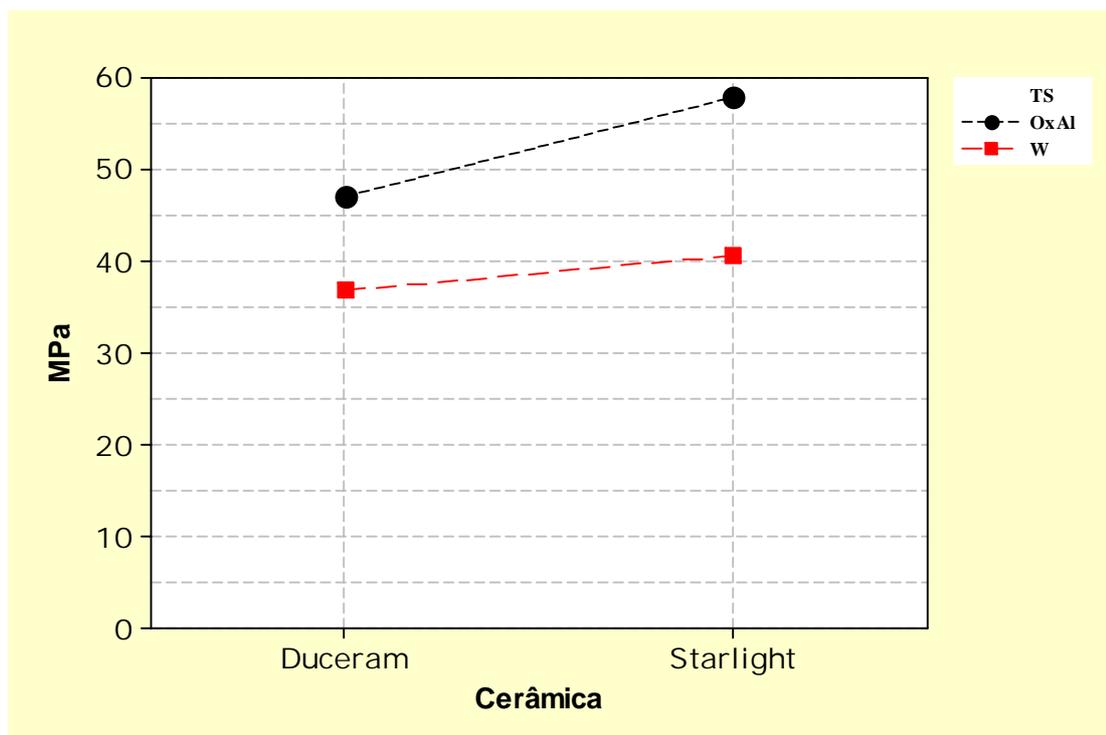


FIGURA 24 - Gráfico de médias referente às quatro condições experimentais.

Quando se comparam os valores médios referentes às quatro condições experimentais, por meio do teste de Tukey (5%), se verifica que a condição com cerâmica Starlight Ceram sob óxido de alumínio supera as condições sob tungstênio independentemente do tipo de cerâmica, Tabela 3.

Tabela 3 – teste de Tukey (5%) referente às condições experimentais.

Cerâmica	Tratamento de Superfície	Média	Grupos Homogêneos*
StarLight Ceram	Al ₂ O ₃	57.971	A
Duceram Kiss	Al ₂ O ₃	47.087	AB
StarLight Ceram	W	40.615	B
Duceram Kiss	W	36.803	B

*valores seguidos de letras diferentes, diferem estatisticamente.

5.2 Análise de fratura em estereomicroscópio

A análise de fratura em estereomicroscópio realizada com aumento de 30 \times revelou um padrão de fratura coesiva ao longo da interface metal/cerâmica para todos os grupos estudados, ou seja, ao analisar as interfaces das bases do metal e das cerâmicas pós-fratura, encontrou-se cerâmica aderida a uma porção da superfície metálica.

Nos grupos estudados houve uma evidente visualização de camadas escurecidas nas superfícies das cerâmicas após a separação dos materiais, sugerindo o destacamento da camada de óxido da superfície metálica como verificado nas Figuras 25, 26, 27 e 28.

Desta forma, pode-se dizer que a ruptura entre os materiais, ocorreu na interface justaposta entre eles, também chamada de zona de interação ou interdifusão.



A



B

FIGUR 25 - Amostra da fratura do grupo StarLight Ceram + Al_2O_3 : a) metal; b) cerâmica.



A

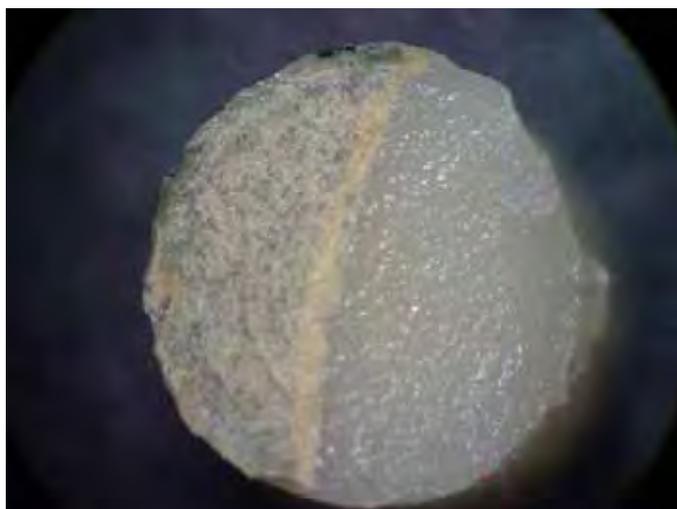


B

FIGURA 26 - Amostra da fratura do grupo StarLight Ceram + W: a) metal; b) cerâmica.

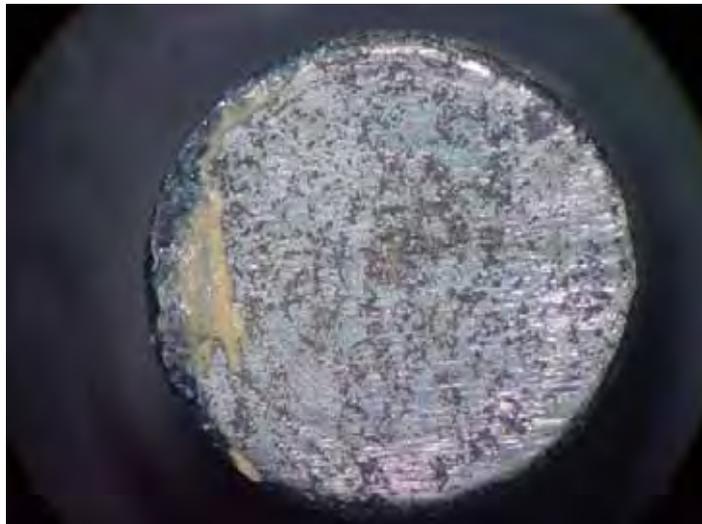


A

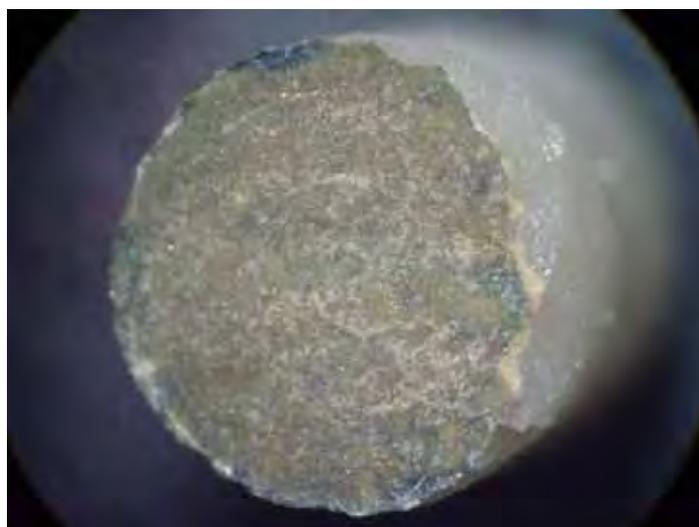


B

FIGURA 27 - Amostra da fratura do grupo Duceram Kiss + Al_2O_3 : a) metal; b) cerâmica.



A



B

FIGURA 28 – Amostra da fratura do grupo Duceram Kiss + W: a) metal; b) cerâmica.

5.3 Análise topográfica com MEV

Nos 4 grupos estudados, pode-se observar pelas imagens obtidas por meio de microscopia eletrônica de varredura que o tratamento superficial com o jateamento com óxido de alumínio previamente à aplicação da cerâmica, promoveu micro-irregularidades na superfície do metal, as quais possibilitaram um aumento da resistência na união dos materiais em estudo (Figuras 29 e 30).

Essas micro-irregularidades já não puderam ser observadas nas amostras tratadas com ponta de tungstênio, pois a mesma criou macro-retenções na superfície metálica, não permitindo uma retenção adequada entre os materiais, o que gerou uma menor resistência de união para os grupos G2 e G4 (Figuras 31 e 32).

Observando as Figuras 29, 30, 31 e 32, verificou-se que todas as interfaces apresentaram-se íntegras, com um bom contacto entre a porcelana e o metal, sem presença de falhas ou fendas, sugerindo uma adequada união entre os materiais.

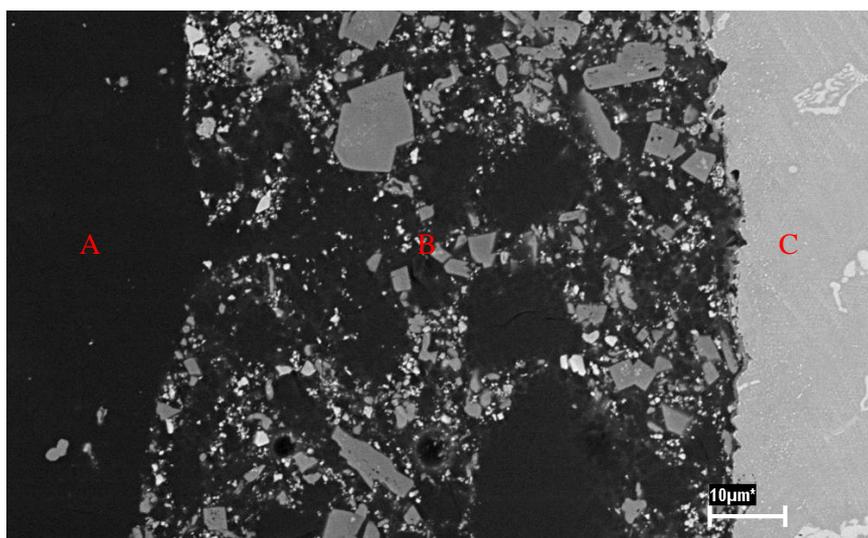


FIGURA 29 - MEV da interface do grupo StarLigth Ceram + Al₂O₃ após secção longitudinal, evidenciando micro-retenções na interface b/c: a) cerâmica; b) zona de interação; c) metal (1000 x).

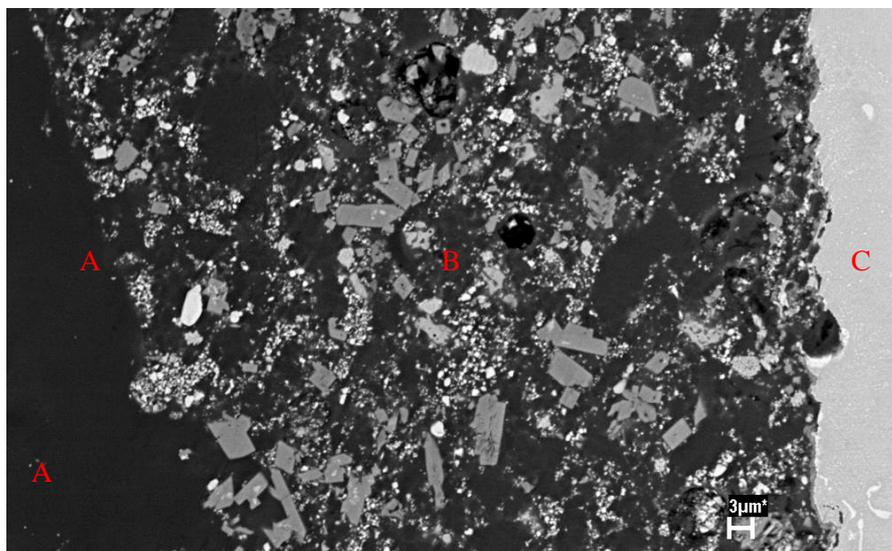


FIGURA 30 - MEV da interface do grupo Duceram Kiss + Al₂O₃ após secção longitudinal, evidenciando micro-retenções na interface b/c: a) cerâmica; b) zona de interação; c) metal (1000 x).

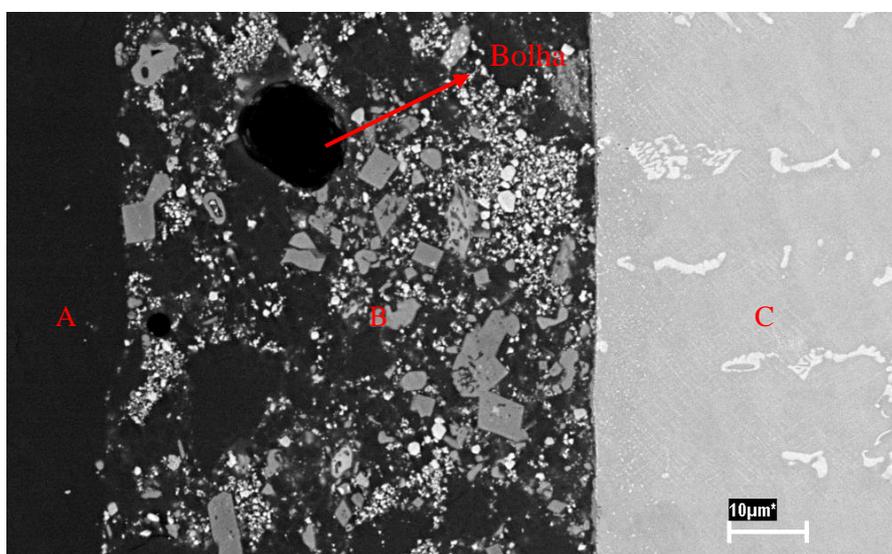


FIGURA 31- MEV da interface do grupo StarLight Ceram + W após secção longitudinal, evidenciando superfície sem irregularidades/lisa na interface b/c: a) cerâmica; b) zona de interação; c) metal (1000 x).

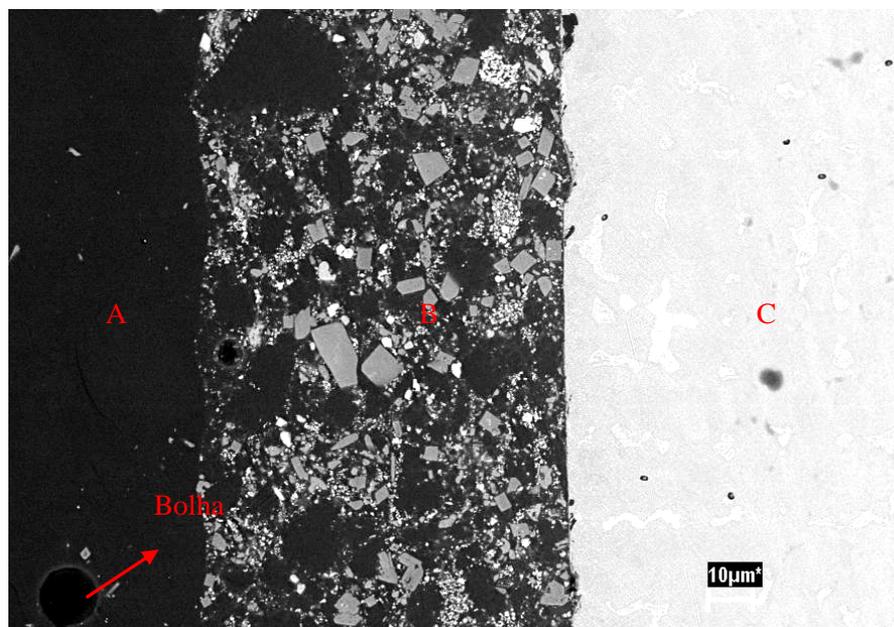
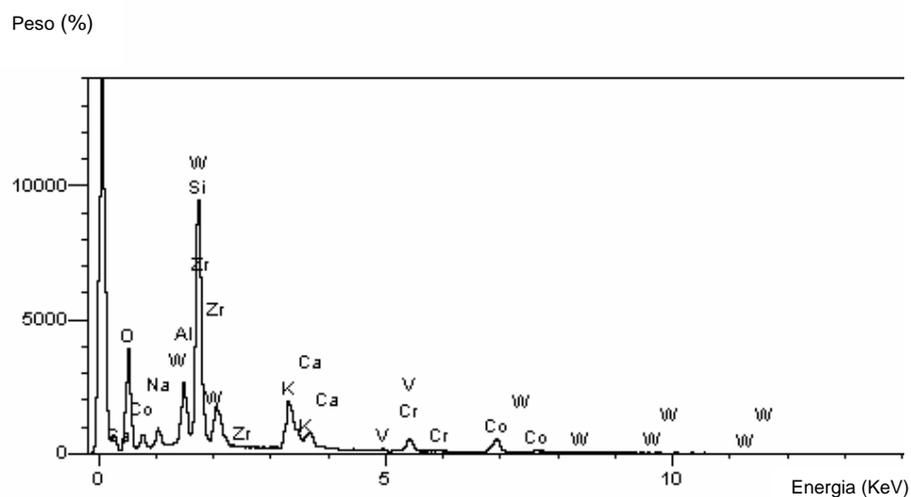


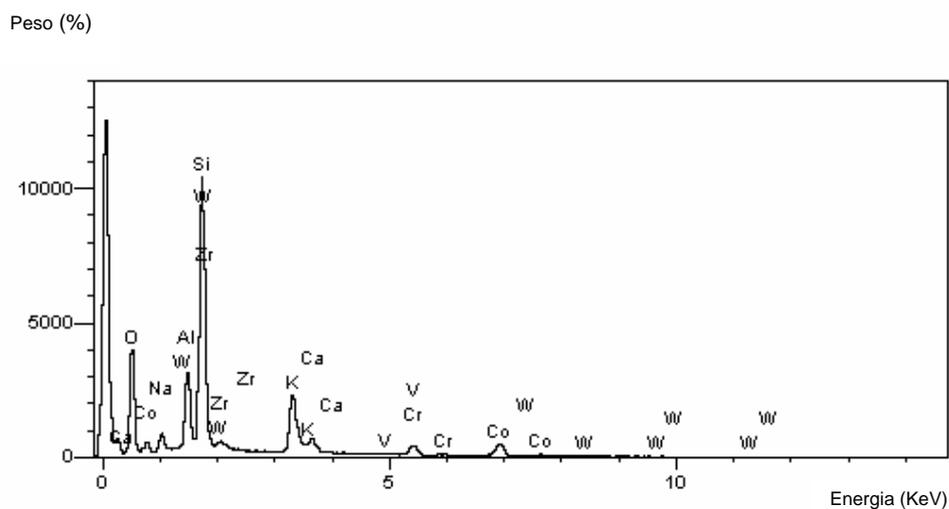
FIGURA 32 - MEV da interface do grupo Duceram Kiss + W após secção longitudinal, evidenciando superfície sem irregularidades/lisa na interface b/c: a) cerâmica; b) zona de interação; c) metal (1000 x).

5.4 Análise química via MEV+EDS

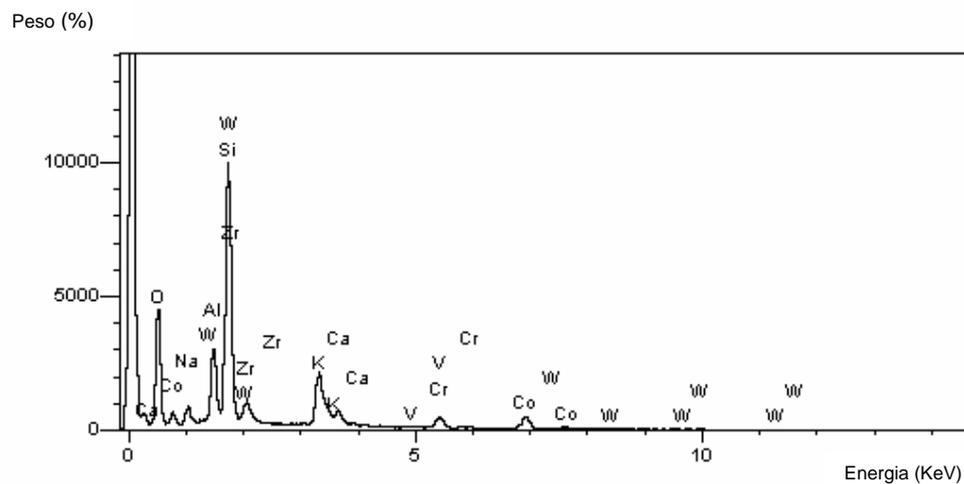
Pela análise por meio da energia dispersiva de raios X na zona de interdifusão, pudemos observar pelos gráficos obtidos (Figuras 33, 34, 35 e 36), que ocorreu uma troca de elementos entre o metal e a cerâmica. A presença de elementos como Co, Cr e O, sugerem a presença de óxido crômico, o qual pode ser encontrado, principalmente, quando a liga utilizada contém Cr. Também foram encontrados os seguintes elementos na zona de interação: Sódio (Na), Silício (Si), Potássio (K), Cálcio (Ca), Vanádio (V), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Alumínio (Al), Tungstênio (W) e Oxigênio (O).



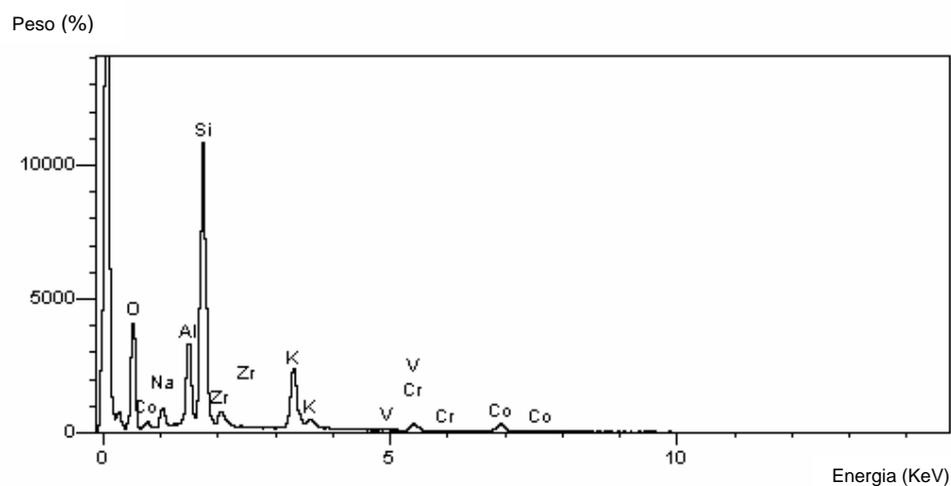
FIGUR 33 - Gráfico representativo da análise por EDS do grupo StarLight Ceram + Al_2O_3 , onde pode-se observar o peso (%) dos elementos químicos presentes na interface entre os dois materiais.



FIGUR 34 - Gráfico representativo da análise por EDS do grupo StarLight Ceram + W, onde pode-se observar o peso (%) dos elementos químicos presentes na interface entre os dois materiais.



FIGUR 35 - Gráfico representativo da análise por EDS do grupo Duceram Kiss + Al_2O_3 , onde pode-se observar o peso (%) dos elementos químicos presentes na interface entre os dois materiais.



FIGUR 36 - Gráfico representativo da análise por EDS do grupo Duceram Kiss + W, onde pode-se observar o peso (%) dos elementos químicos presentes na interface entre os dois materiais.

6 DISCUSSÃO

As qualidades ideais de um material restaurador resumem-se, de uma forma geral, em resistência e longevidade, características importantes relacionadas ao sucesso de um tratamento reabilitador. Sendo assim, é imprescindível, que para cada condição, que se conheça as propriedades dos materiais restauradores, em relação à sua composição química, física, biocompatibilidade e o custo.

O requisito primário para o sucesso de uma restauração metalocerâmica é o desenvolvimento de uma união duradoura entre a cerâmica e a liga metálica. Uma vez que esta união é obtida, existe a possibilidade de se introduzir tensões neste sistema durante o processo de sinterização da cerâmica. Uma distribuição desfavorável de tensões durante o processo de resfriamento, pode também resultar na fratura da cerâmica, além do que fratura tardia também poderia ocorrer (Anusavice⁵, 1998). Fraturas ou descolamentos da cobertura estética de cerâmica são sérios e dispendiosos problemas em odontologia, ocasionando inconvenientes funcionais e estéticos, tanto para o paciente como para o cirurgião-dentista (Özcan⁵⁵, 2003).

Este trabalho avaliou a resistência de união entre uma liga de Co-Cr e duas cerâmicas, variando-se o tipo de tratamento superficial do metal. Devido à escassez de trabalhos na literatura é auspicioso determinar os diferentes tratamentos superficiais que possam interferir na união da cerâmica com o metal.

O uso de ligas alternativas para as restaurações metalocerâmicas surgiu devido ao alto custo do ouro em meados dos anos 70, atualmente as ligas mais utilizadas são de Ni-Cr e Co-Cr, as quais possibilitam tratamentos de excelente qualidade por possuírem

propriedades mecânicas superiores às ligas áuricas (dureza, elasticidade e resistência a tração) (ADA¹, 1985).

A liga de Co-Cr (StarLoy C – DeguDent) utilizada, caracteriza-se por apresentar: boas qualidades mecânicas, as quais permitem obter estruturas delgadas e com menor volume de material (Pretti et al.⁶², 2004); coeficiente de expansão térmica próximo das cerâmicas utilizadas, possibilitando reduzir tensões e trincas entre os dois materiais após os ciclos de queima da cerâmicas; biocompatibilidade por não apresentar Ni ou Be na sua composição, pois estes elementos possuem potencial carcinogênico e alergênico e propriedades mecânicas semelhantes às das ligas de Ni-Cr (Pretti et al.⁶², 2004; Grimaudo²⁸, 2001; Covington et al.¹⁷, 1985; Baran⁸, 1985; ADA¹, 1985).

Um fator importante que deve ser levado em consideração, quando se estuda a união metal/cerâmica, diz respeito aos tipos de ensaios mecânicos, os quais são pertinentes quando se deseja estudar a união entre metal e cerâmica.

Muitos testes mecânicos são capazes de avaliar a resistência de união entre metal e cerâmica, tais como: flexão, torção, cisalhamento, tração ou combinação de flexão e torção (Hammad & Stein³¹, 1996, Melo et al.⁵¹, 2005). Alguns testes dependem da deformação do material metálico ou, na maioria dos casos, da concentração incontrolável do estresse para introduzir a carga na interface dos materiais (Person & Bergman⁵⁹, 1996).

Alguns autores afirmaram que não há uma metodologia capaz de medir puramente as forças de cisalhamento na interface de união (Anusavice et al.², 1980; Chong e Beech¹⁶ 1980; Baran⁸, 1985). Anusavice et al.². (1980) mostraram que os testes de união entre metal e cerâmica possuem dois problemas sérios. Primeiro, não existe uma carga pura de cisalhamento na interface metal/cerâmica e segundo, existe uma descontinuidade no estresse gerado nos pontos de contato inicial com a cerâmica. Para Lenz e Kessel⁴⁴ (1998), tanto nos testes de flexão de três

pontos quanto nos testes de cisalhamento, ocorre uma alta concentração de estresse nas áreas de contato inicial da aplicação da força.

Outros autores, porém, consideraram o teste de cisalhamento adequado para se medir a resistência adesiva entre materiais de infra-estrutura metálicos e revestimento estético cerâmico (Hammad e Stein³⁰, 1990; Itinoche³⁸, 1999; Bondioli¹⁰, 2001; Pretti et al.⁶², 2004), pois este tipo de teste foi executado de forma a induzir a tensão diretamente na interface dos materiais estudados. Hammad e Stein³¹ (1996) determinaram que os testes de cisalhamento podem direcionar a tensão, na maioria das vezes, para a interface e não sofrer a influência do módulo de elasticidade do metal como nos testes de flexão.

Em nosso trabalho, optamos pelo teste de cisalhamento, pois era de interesse se avaliar a resistência de união na interface entre metal e cerâmica com relação ao tipo de tratamento de superfície do metal.

van Noort et al.⁶⁸ (1989), relataram que o dispositivo para cisalhamento, caracterizado faca sem entalhe (ISO 11405³⁷), possui contato em um único ponto na interface de união da amostra, sendo assim, o estresse é concentrado numa área pequena, resultando numa falha prematura na interface. DeHoff et al.²³ (1995) descreveram que durante a utilização desse dispositivo, a discrepância ocorreu devido à falha, para compensar o estresse local próximo ao ponto de aplicação inicial da carga,

O dispositivo utilizado neste estudo para o ensaio mecânico de cisalhamento, foi a faca modificada com um entalhe central. Este desenho foi desenvolvido pela Ultradent (Ultradent Products, EUA), pois esse dispositivo circunscreve o corpo-de-prova em 180°, entrando em contato com uma área maior da amostra, distribuindo as forças paralelamente e o mais próximo da interface dos corpos-de-prova testados e reduzindo o estresse da interface, resistindo à altos níveis de carga (Haselton et al.³², 2001; Pecora et al.⁵⁸, 2002).

Dentre os principais fatores diretamente relacionados à compatibilidade de união entre metal e cerâmica, destacam-se os procedimentos de pré-tratamento do metal, constituindo mecanismos auxiliares para essa união (Chong et al.¹⁶, 1980; Yamamoto⁷⁴, 1985; Naylor⁵³, 1992; Wagner et al.⁶⁹, 1993).

A pré-oxidação (degaseificação) do metal constitui um tratamento prévio, por meio do qual é alcançada uma melhora na resistência de união pela formação de uma camada inicial de óxidos (união química) que auxilia na retenção entre os dois materiais, devido à difusão de íons metálicos, formando uma camada monomolecular, a qual faz parte do metal e parte do vidro (Wight et al.⁷¹, 1977; Daftary e Donovan¹⁹, 1986; Graham et al.²⁷, 1999).

Previamente à aplicação da cerâmica opaca, não utilizamos esse processo, pois o fabricante não recomenda tal procedimento. Baseado no artigo de Hegedüs et al.³³ (2002), encontramos que nas ligas com alto teor de cromo, como a utilizada nesse estudo, uma camada muito fina de óxido-crômico (Cr_2O_3) já se encontra presente e em altas temperaturas ocorre uma mistura pela difusão de átomos do metal para a cerâmica.

Essa união química também é encontrada durante os processos de sinterização, onde uma reação muito complexa de oxido-redução ocorre na interface entre os dois materiais pelo desenvolvimento de uma fina e aderente camada de óxidos na superfície do metal e também na interação química com os constituintes presentes na cerâmica, sendo que uma espessura excessiva dessa camada pode diminuir a resistência de união (Lacy⁴², 1977; Carter et al.¹⁵, 1979; Quinones et al.⁶³, 1985; Mackert⁴⁸, 1987; Hegedüs et al.³³, 2002).

O jateamento com óxido de alumínio é comumente utilizado com partículas de 30-50 μm , o qual aumenta o entrelace da porcelana com o metal e aumenta a área da superfície disponível para a ligação da porcelana (Graham et al.²⁷, 1999). Os padrões metálicos foram

jateados a uma distância aproximada de 2 cm e em única direção, pois o jateamento em diferentes direções pode armazenar ar e detritos nas irregularidades superficiais, os quais se decompõem durante a queima, resultando no aparecimento de bolhas de gás na interface entre os dois materiais, os quais causam porosidades na porcelana (van Noort et al.⁶⁸, 1994; Hofstede et al.³⁵, 2000). Estas porosidades atuam como pontos iniciais de propagação de trincas, causando a redução da resistência de união. Sendo assim, foi recomendado que o acabamento e o jateamento do metal devam ser feitos em uma única direção, deixando a superfície lisa e livre de detritos (Naylor⁵³, 1992; van Noort et al.⁶⁸, 1994).

Já as pontas de tungstênio são utilizadas para acabamento de superfícies metálicas de copings de ligas de Ni-Cr e Co-Cr após remoção dos *sprues*. Propusemos usá-la para o tratamento superficial dos nossos padrões metálicos, para obtermos uma melhor molhabilidade da superfície pela cerâmica e como consequência, uma eficiente retenção mecânica entre o metal e as cerâmicas utilizadas.

Pontas de óxido de alumínio também podem ser utilizadas para este fim, pois as mesmas promovem uma superfície mais bem acabada e com menos irregularidades, não interferindo na resistência de união, mesmo realizando o tratamento superficial em diferentes direções (Wigth et al.⁷¹, 1977).

Pelos resultados obtidos em nosso estudo, verificamos que a resistência de união obtida com a utilização dessa ponta de tungstênio ficou diminuída em relação aos grupos que apenas foram jateados com óxido de alumínio. Pela análise em MEV, observamos que foram formadas macro retenções na superfície metálica e no aumento de 1000 x, verificou-se que não ocorreu um entrelace entre metal e cerâmica. Essas irregularidades puderam ser vistas à olho nu, mas quando as amostras foram submetidas a análise microscópica, essas irregularidades deram lugar à superfícies planas não permitindo uma união adequado entre os dois materiais. Além disso, pudemos observar o aprisionamento

de bolhas, as quais influenciaram na diminuição da resistência de união. Corroborando com os estudos de Hofstede et al.³⁵ (2000), os quais relataram que a direção de preparação da superfície é um dos fatores que pode promover porosidades e afetar a união entre metal e cerâmica, pois fissuras e pequenos orifícios possibilitaram o aprisionamento de ar e agentes contaminantes, os quais podem causar porosidade na porcelana durante a sinterização, resultando em áreas de estresse localizado, as quais podem reduzir a resistência à fratura.

Já o jateamento aumenta a rugosidade superficial, aumentando a retenção da cerâmica por ação micromecânica, produzindo uma superfície menos irregular (Graham et al.²⁷, 1999).

A estatística descritiva dos dados de tensão de cisalhamento (MPa) obtidos no teste, segundo as condições experimentais, revelou as seguintes médias e desvios padrão: G1 (StarLight Ceram + OxAl) $57,97 \pm 11,34$; G2 (StarLight Ceram + W) $40,62 \pm 12,96$; G3 (Duceram Kiss + OxAl) $47,09 \pm 13,19$ e G4 (Duceram Kiss + W) $36,80 \pm 8,86$. De acordo com a norma ISO 9693 e segundo Craig & Powers¹⁸ (2004), uma adequada união entre liga metálica e cerâmica ocorre quando a resistência de união ao cisalhamento é maior do que 25 MPa, sugerindo, para o nosso estudo, valores clinicamente aceitáveis. Valores semelhantes foram encontrados por Pretti et al.⁶² (2004); Melo et al.⁵¹ (2005) e por Kojima⁴¹ (2005), os quais utilizaram o dispositivo para cisalhamento do tipo pistão (Itinoche³⁸, 1999), o qual permitiu uma redução do estresse no ponto de contato inicial da aplicação da força, sendo essa redução também encontrada pelo dispositivo utilizado em nosso trabalho.

Por meio da visualização em MEV dos grupos tratados com jateamento com óxido de alumínio, verificamos um bom embricamento entre os dois materiais, em virtude das micro retenções produzidas na superfície metálica por meio deste tratamento superficial.

As razões para as fraturas clínicas da porcelana nos sistemas metalocerâmicos são multifatoriais, pois no meio oral podemos encontrar estresse frequentemente repetido e tensão durante as funções mastigatórias. Além disso, a influência da água e da fadiga causadas pelas cargas cíclicas é considerada fator importante na durabilidade dessas restaurações (Özcan⁵⁵, 2003). As falhas mais freqüentes são relatadas pela presença de trincas no interior das cerâmicas, que podem ocorrer devido ao estresse gerado pelas diferenças de coeficientes de expansão térmica entre metal e porcelana (Malhotra e Maickel⁴⁹, 1980; Drummond et al.²⁴, 1984; Daftary e Donovan¹⁹, 1986; Pretti et al.⁶², 2004), a erros técnicos, tais como a incorporação de bolhas de ar durante a preparação, as quais contribuem para o enfraquecimento e eventual fratura da cerâmica. Falta de suporte para a cerâmica e preparo incorreto dos dentes pilares, são fatores que não podem ser deixados de lado quando mencionamos as falhas clínicas (Yamamoto⁷⁴, 1985; Haselton et al.³², 2001; Özcan⁵⁵, 2003).

Como a resistência de união entre metal e porcelana tem sido o assunto de vários artigos e testes, encontramos que para as ligas nobres, a fratura ocorre na cerâmica (Sced e McLean⁶⁵, 1972; Chong e Beech¹⁶, 1980; Oilo et al.⁵⁴, 1981); já para as ligas de metais não nobres (Ni-Cr e Co-Cr), as falhas ocorrem predominantemente pelo destacamento da porcelana da superfície metálica (Sced e McLean⁶⁵, 1972)

Na liga de Co-Cr estudada, verificamos que o tipo de fratura obtida em 100% das nossas amostras foi do tipo coesiva na cerâmica, evidenciando uma ótima resistência de união entre metal e cerâmica (Papazoglou e Brantley⁵⁶, 1998) e que o fragmento que permaneceu na superfície metálica sempre se encontrava na região superior dos corpos-de-prova, região que entrou em contato inicial com a força aplicadas. Examinando-se os fragmentos cerâmicos, observou-se

coloração escura, metálica, evidenciando-se o destacamento da camada de óxidos, concordando com os achados de Jóias³⁹ (2005).

Com base na literatura científica, podemos afirmar que as estruturas protéticas metalocerâmicas, não falham como uma consequência de um simples episódio de estresse, mas sim pelo efeito cumulativo de um grande número de pequenas cargas presentes no meio oral, somado a erros clínicos e laboratoriais.

Considerando o ensaio mecânico aplicado e os resultados obtidos, parece-nos lícito afirmar que restaurações metalocerâmicas confeccionadas com as cerâmicas e a liga metálica estudadas, são clinicamente viáveis.

7 CONCLUSÃO

Frente à metodologia utilizada e com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que:

- Independente do tipo de cerâmica utilizada, o tratamento superficial com jateamento com óxido de alumínio, aumentou a resistência de união entre o metal e a cerâmica, sendo estatisticamente significante apenas para a cerâmica Starligth.

8 REFERÊNCIAS*

1. American Dental Association. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipments. Report on base metal alloys for crown and bridge applications: benefits and risks. J Am Dental Assoc. 1985 Sept.; 111: 479-83.
2. Anusavice KJ, Dehoff PH, Fairhurst CW. Comparative evaluation of ceramic-metal bond tests using finite element stress analysis. J Dent Res. 1980 March; 59(3): 608-13.
3. Anusavice KJ, Ringle RD, Fairhurst CW. Adherence controlling elements in ceramic-metal systems. II. nonprecious alloys. J Dent Res. 1977 Sept.; 56(9): 1053-61.
4. Anusavice KJ, Ringle RD, Fairhurst CW. Bonding mechanism evidence in a ceramic-nonprecious alloy system. J Biomed Mater Res. 1977 Sept.; 11(5): 701-9.
5. Anusavice KJ. Ligas odontológicas para fundição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 10.ed.; 1998: Cap. 20, p. 248-70.
6. Anusavice KJ. Cerâmicas odontológicas. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan 10 ed; 1998: Cap. 26, p. 345-66.
7. Bagby M, Marshall SJ, Marshall GW. Metal ceramic compatibility: a review of the literature. J Prosthet Dent. 1990 Jan.; 63(1): 21-5.
8. Baran GR. Selection criteria for base metal alloys for use with porcelains. Dent Clin Norht Am. 1985; 29: 779-87.

*Internacional Comité of Medical Journal Editors. Bibliographic Services Division. Uniform requirements for manuscripts submitted to biomedical journals: simple referentes [homepage na Internet]. Bethesda: US Nacional Library; c2003 [disponibilidade em 2006 fev; citado em 20 mar.]. Disponível em: <http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniformrequirements.html>

9. Barghi N, McKeehan-Whitmer M, Aranda R. Comparison of fracture strength of porcelain-veneered-to-high noble and base metal alloys. *J Prosthet Dent.* 1987 Jan.; 57(1): 23-6.
10. Bondioli IR. Avaliação da resistência ao cisalhamento da união de duas porcelanas ao titânio cp injetado no molde de fundição em três diferentes temperaturas [dissertação]. São José dos Campos: Faculdade de Odontologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista; 2001.
11. Bowers JE, Vermilyea SG, Griswold WH. Effect of metal conditioners on porcelain-alloy bond strength. *J Prosthet Dent.* 1985 Aug.; 54(2): 201-3.
12. Bullard JT, Dill RE, Marker VA, Payne EV. Effects of sputtered metal oxide films on the ceramic-to-metal bond. *J Prosthet Dent.* 1985 Dec.; 54(6): 776-78.
13. Buso L, Bottino MA, Torbitoni H, Valadares EM. Efeito de diferentes tratamentos superficiais do metal na união com porcelana. *Braz Oral Res.* 2004 Sept.; 18 (suppl.): 138.
14. Caputo AA. Effect of surface preparation on bond strength of nonprecious and semi-precious alloys. *J Calif Dent Assoc.* 1978 Nov.; 6(11): 42-6.
15. Carter JM, Al-Mudafar J, Sorensen SE. Adherence of a nickel-chromium alloy and porcelain. *J Prosthet Dent.* 1979 Feb.; 41(2): 167-72.
16. Chong MP, Beech DR, Chem C. A simple shear test to evaluate the bond strength of ceramic fused to metal. *Aust Dent J.* 1980 Dec.; 25(6): 357-61.
17. Covington JS, McBride MA, Slagle WF, Disney AL. Quantization of nickel and beryllium leakage from base metal casting alloys. *J Prosthet Dent.* 1985 July; 54(1): 127-36.
18. Craig RG, Powers J M. *Materiais dentários restauradores*, 11.ed. São Paulo: Ed Santos. 2004: 86, 413 e 576.

19. Daftary F, Donovan T. Effect of four pretreatment techniques on porcelain-to-metal bond strength. *J Prosthet Dent.* 1986 Nov.; 56(5): 535-9.
20. Daftary, F.; Donovan, T. Effect of electrodeposition of gold on porcelain-to-metal bond strength. *J Prosthet Dent.* 1987 Jan.; 57(1): 41-6.
21. Deger S, Caniklioglu MB. Effects of tin plating on base metal alloy-ceramic bond strength. *J Prosthet Dent.* 1998 Mar./Apr.; 11(2): 165-72.
22. DeHoff PH, Anusavice KJ, Hathcock PW. An evaluation of the four-point flexural test for metal-ceramic bond strength. *J Dent Res.* 1982 Sept.; 61(9): 1066-69.
23. DeHoff PH, Anusavice KJ, Wang Z. Three dimensional finite element analysis of the shear bond test. *Dent Mater.* 1995, 11: 126-31.
24. Drummond JL, Randolph RG, Jekkals VJ, Lenke JW. Shear testing of the porcelain-metal bond. *J Dent Res.* 1984 Dec.; 63(12): 1400-1.
25. Fernandes AJ Neto, Panzeri H, Neves FD, Prado RA, Mendonça G. Bond strength of three dental porcelains to Ni-Cr and Co-Cr-Ti alloys. *Braz Dent J.* 2006; 17(1): 24-8.
26. Gavellis JR, Lim SB, Guckes AD, Morency JD, Sozio RB. A comparison of the bond strength of two ceramometal systems. *J Prosthet Dent.* 1982 Oct.; 48(4): 424-8.
27. Graham JD, Johnson A, Wildgoose DG, Shareef MY, Cannavina G. The effect of surface treatments on the bond strength of a nonprecious alloy-ceramic interface. *Int J Prosthodont.* 1999 Jul./Aug.; 12: 330-4.
28. Grimaudo NJ. Biocompatibility of nickel and cobalt dental alloys. *Gen Dent.* 2001 Sept./Oct.; 498-503.
29. Hammad IA, Goodkind RJ, Gerberich WW. A shear test for the bond strength of ceramometals. *J Prosthet Dent.* 1987 Oct.; 58(4): 431-7.
30. Hammad IA, Stein RS. A qualitative studie for the bond and color of ceramometals – Part I. *J Prosthet Dent.* 1990 June, 63(6): 643-53.

31. Hammad IA, Stein RS. Design of bond strength tests for metal ceramic complexes: a review of literature. *J Prosthet Dent.* 1996 Dec.; 75(6): 602-8.
32. Haselton DR, Diaz-Arnold AM, Dunne JT. Shear bond strengths of two intraoral porcelain repair systems to porcelain or metal substrates. *J Prosthet Dent.* 2001; 86(5): 526-31.
33. Hegedüs C, Daróczi L, Kökényesi V, Beke DL. Comparative microstructural study of the diffusion zone between NiCr alloy and different dental ceramics. *J Dent Res.* 2002 Mar.; 81(5): 334-7.
34. Hilgert E. Avaliação da união de ligas metálicas à cerâmica por meio de ensaio de cisalhamento, e análise pela microscopia eletrônica de varredura e EDS. São José dos Campos; 2005 [Tese de Doutorado em Odontologia Restauradora, área de concentração em prótese – FOSJC – UNESP].
35. Hofstede TM, Ercoli C, Graser GN, Tallents RH, Moss ME, Zero DT. Influence of metal surface finishing on porcelain porosity and beam failure loads at the metal-ceramic interface. *J Prosthet Dent.* 2000 Sept.; 84(3): 309-17.
36. Ibrahim RM. Scanning and electron microprobe analysis of metal-porcelain interface. *Egypt Dent J.* 1995 Oct.; 41: 1469-78.
37. International Organization for Standardization. Dental materials: testing of adhesion to tooth structure. Switzerland: ISO; 2003. Technical report ISO TS 11405.
38. Itinoche MK. Estudo da resistência ao cisalhamento entre ligas metálicas e materiais compostos para revestimento estético: cerômero e polímero de vidro [dissertação]. São José dos Campos: Faculdade de Odontologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista; 1999.
39. Jóias RM. Avaliação da resistência de união entre cerâmica e ligas de Co-Cr por meio do teste de cisalhamento [tese]. São José dos

Campos: Faculdade de Odontologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista; 2005.

40. Kelly JR, Rose TC. Nonprecious alloys for use in fixed prosthodontics: a literature review. *J Prosthet Dent.* 1983 Mar.; 49(3): 363-70.
41. Kojima AN. Avaliação do tipo de carregamento pela análise de elementos finitos, sobre a resistência de união ao cisalhamento da interface metal/porcelana (Ni-Cr/vita omega 900) [dissertação]. São José dos Campos: Faculdade de Odontologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista; 2005.
42. Lacy AM. The Chemical Nature of Dental Porcelain. *Dent Clin North Am.* 1977 Oct.; 21(4): 661-7.
43. Lavine MH, Custer F. Variables affecting the strength of bond between porcelain and gold. *J Dent Res.* 1966 Jan./Feb.; 45(1): 32-6.
44. Lenz J, Kessel S. Thermal stresses in metal-ceramic specimens for the ISO crack initiation test (three-point flexure bond test). *Dent Mater.* 1998, 14: 277-80.
45. Leone EF, Fairhurst CW. Bond strength and mechanical properties of dental porcelain enamels. *J Prosthet Dent.* 1967 Aug.; 18(2): 155-9.
46. Lombardo et al. Influence of the Gold Bonder on the Titanium-ceramic Bond Strength. *J Dent Res.* 2007 Mar.; 86 (suppl. A).
47. Lubovich RP, Goodkind RJ. Bond strength studies of precious, semi-precious and nonprecious ceramic-metal alloys with two porcelain. *J Prosthet Dent.* 1977 Mar.; 37(3): 288-99.
48. Mackert JR Jr., Ringle RD, Parry EE, Evans AL, Fairhurst CW. The relationship between oxide adherence and porcelain-metal bonding. *J Dent Res.* 1988 Feb.; 67(2): 474-8.
49. Malhotra ML, Maickel LB. Shear bond strength in porcelain-metal restorations. *J Prosthet Dent.* 1980 Apr.; 43(4): 397-400.
50. McLean JW. The metal-ceramic restoration. *Dent Clin North Am.* 1985 Oct.; 27(4): 747-61.

51. Mello, R.M.; Travassos, A.C.; Neisser, M.P. Shear bond strengths of a ceramic system to alternative metal alloys. *J Prosthet Dent.* 2005 Jan.; 93(1): 64-9.
52. Morris HF. Properties of cobalt-chromium metal ceramic alloys after heat treatment. *J Prosthet Dent.* 1990 Apr.; 63(4): 426-33.
53. Naylor WP. *Metal ceramic. Technology.* Chicago: Quintessence. 1992; 83-103.
54. Oilo G, Johansson B, Syverud M. Bond strength of porcelain to dental alloys - an evaluation of two test methods. *Scand J Dent Res.* 1981 Jun; 89(3): 289-96.
55. Özcan M. Fracture reasons in ceramic-fused-to-metal restorations. *J Oral Rehabil.* 2003; 30(3): 265-9.
56. Papazoglou E, Brantley WA. Porcelain adherence vs force to failure for palladium-gallium alloys: a critique of metal-ceramic bond testing. *Dent Mater.* 1998 Mar.; 14: 112-9.
57. Pask JA, Tomsia AP. Oxidation and ceramic coatings on NiCr alloys. *J Dent Res.* 1988; 67: 1164-1171.
58. Pecora N, Yaman P, Denninson J, Herrero A. Comparison of shear bond strength relative to two testing devices. *J Prosthet Dent.* 2002 Nov.; 88: 511-5.
59. Person M, Bergman M. Metal-ceramic bond strength. *Acta Odontol Scand.* 1996 June; 54: 160-65.
60. Pezzoli M, Angelini E, Bruzzone G. Metal-porcelain bonding to a magnetizable alloy. *J Prosthet Dent.* 1989 July; 62(1): 38-44.
61. Prado RA, Panzeri H, Fernandes AJ Neto, Neves FD, Silva MR, Mendonça G. Shear bond strength of dental porcelains to nickel-chromium alloys. *Braz Dent J.* 2005 Sept./Dec.; 16(3): 202-6.
62. Pretti M, Hilgert E, Bottino MA, Avelar RP. Evaluation of the shear bond strength of the union between two CoCr-alloys and a dental ceramic. *J Appl Oral Sci.* 2004; 12(4): 280-4.

63. Quinones EE, Vermilyea SG, Griswold WH. Apparent bond strength of nonnoble alloy-porcelain combinations. *J Prosthet Dent.* 1985 Sept.; 54(3): 359-61.
64. Scaranelo RM, Muench A. A contribuição para o estudo da resistência de união entre porcelanas e ligas de níquel-crômio. *RPG.* 1994 Jan./Mar.; 1(1): 22-6.
65. Sced IR, McLean JW. The strength of metal/ceramic bonds with base metals containing chromium. *Br Dent J.* 1972 Mar.; 132(6): 232-4.
66. Strandman E, Landt H. Oxidation resistance of dental chromium-cobalt alloys. *Quintessence Dent Technol.* 1982 Jan.; 6(1): 67-74.
67. Uusalo EK, Lassila VP, Yli-Urpo AU. Bonding of dental porcelain to ceramic-metal alloys. *J Prosthet Dent.* 1987 Jan.; 57(1): 26-9.
68. Van Noort R, Noroozi S, Howard IC, Cardew G. A critique of bond strength measurements. *J Dent.* 1989; 17: 61-7.
69. Wagner WC, Asgar K. Effect of interfacial variables on metal-porcelain bonding. *J Biomed Mater Res.* 1993 Apr.; 27(4): 531-7.
70. Wataha JC. Biocompatibility of dental casting alloys: a review. *J Prosthet Dent.* 2000 Feb.; 83(2): 223-34.
71. Wight TA, Bauman JC, Pelleu GB Jr.. An evaluation of four variables affecting the bond strength of porcelain to nonprecious alloy. *J Prosthet Dent.* 1977 May; 37(5): 570-7.
72. Williams TRP, Johnson CE, Winchell PG, Philips RW. Be, Li and Na redistribution near a porcelain/ Ni alloy interface shown by ion microprobe mass analysis. *J Dent Res.* 1978; 57: 233-6.
73. Wu Y, Moser JB, Jameson LM, Malone WFP. The effect of oxidation heat treatment on porcelain bond strength in selected base metal alloys. *J Prosthet Dent.* 1991 Oct.; 66(4): 439-44.
74. Yamamoto M. Factors affecting the strength of metal-ceramics. *Metal-ceramics: principles and methods of Makoto Yamamoto.* Chicago: Quintessence Books; 1985. Cap.1, p. 15-202.

Apêndice A – Dados complementares referentes aos resultados obtidos no teste de cisalhamento.

Tabela 4 – Dados obtidos no ensaio de cisalhamento para cada grupo experimental (MPa).

Corpo-de Prova	Gr1 StarLight Ceram	Gr2 StarLight Ceram + W	Gr3 Duceram Kiss	Gr4 Duceram Kiss + W
1	76,10	28,69	48,48	42,11
2	53,43	41,75	59,67	43,15
3	44,92	31,02	58,54	42,40
4	50,71	36,48	37,94	44,73
5	57,86	29,01	48,58	42,98
6	52,14	20,31	59,71	17,01
7	66,01	49,78	24,94	28,98
8	54,14	42,50	27,85	31,05
9	41,37	68,15	33,54	30,47
10	75,68	41,11	56,05	30,95
11	54,17	54,37	46,74	44,47
12	69,12	44,21	63,00	43,34

LOMBARDO, G.H.L. *Influence of the surface treatment on the bond strength among a cobalt-chromium alloy and two ceramics*. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado pelo Programa de Pós Graduação em Odontologia Restauradora, Especialidade em Prótese Dentária) – Faculdade de Odontologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista. São José dos Campos.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the influence of the surface treatment (sandblasting with aluminium oxide and tungsten carbide bur), on the shear bond strength among a Co-Cr alloy (StarLoy C – DeguDent) and two ceramics (StarLight Ceram – DeguDent and Duceram Kiss – Degudent). Forty eight metal cylindrical specimens were made with 4,7 mm high, with two different diameters: one with 5,5 mm and the other with 3,7 mm (ISO 11405), with twelve specimens for each one of the four groups: G1 – sandblasting + StarLigth Ceram; G2 – tungsten carbide burs + StarLigth Ceram; G3 - sandblasting + Duceram Kiss and G4 – tungsten carbide burs + Duceram Kiss. The shear test was made with a universal testing machine (Emic DL 1000, São José dos Pinhais, Brazil), with load of 100 kg, with the crosshead speed of 0,5 mm/min, using a specific device (knife with an indent – Ultradent). The fracture analysis of the surfaces was made and the data were statistically analyzed with the ANOVA (two way). The means and the standard deviations of the shear bond strength were: G1 (57,97±11,34 MPa); G2 (40,62±12,9 MPa); G3 (47,09±13,19 MPa) e G4 (36,80±8,86 MPa). It could be concluded that the surface treatment with the tungsten carbide bur reduced the shear bond strength, independent of the ceramics used.

KEYWORDS: *Dental alloys; shear strength; dental materials.*

Autorizo a reprodução gráfica deste documento

Geraldo Henrique Leão Lombardo

29.05.2007