



INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

**EFEITO DE DIFERENTES PREPARAÇÕES MICRO-MECÂNICAS
DA SUPERFÍCIE DE DIFERENTES CERÂMICAS NA FORÇA DE
ADESÃO DE *BRACKETS* ORTODÔNTICOS, UTILIZANDO O
SISTEMA ADESIVO ASSURE PLUS ALL**

Trabalho submetido por
Rita Sofia de Silva Couto e Freitas Ferreira
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Outubro de 2020



INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

**EFEITO DE DIFERENTES PREPARAÇÕES MICRO-MECÂNICAS
DA SUPERFÍCIE DE DIFERENTES CERÂMICAS NA FORÇA DE
ADESÃO DE *BRACKETS* ORTODÔNTICOS, UTILIZANDO O
SISTEMA ADESIVO ASSURE PLUS ALL**

Trabalho submetido por
Rita Sofia de Silva Couto e Freitas Ferreira
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutor Pedro Mariano Pereira

Outubro de 2020

Aos meus Avós, Beatriz e Francisco, por tudo o que foram para mim. Estando longe,
mas perto, sei que entenderão este meu gesto.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Prof. Doutor Pedro Mariano Pereira, por ter sido incansavelmente prestável e dedicado durante todo o processo de realização deste trabalho. Um muito obrigada por tudo.

Em segundo lugar, agradeço a todos os professores e funcionários que fizeram parte da minha formação académica no Instituto Universitário Egas Moniz, lugar que foi a minha segunda casa durante os últimos cinco anos.

Agradeço de igual forma a todos os outros que tornaram esta investigação possível: ao Dr. Ricardo Pitschieller pelo fabrico das amostras de cerâmica, ao Prof. Doutor Mário Polido pela disponibilização do Laboratório de Biomateriais, ao Prof. Doutor José Grillo pela cedência do Laboratório de Morfologia e ao Prof. Doutor Luís Proença pela análise estatística.

Agradeço ainda à Belén e à Inês por todo o companheirismo com que trabalhámos nos últimos meses.

Ao António, um especial obrigada, por estar presente do primeiro ao último dia.

À Bruna e à Cabaço, um grande obrigada por terem tropeçado na minha vida e dela não terem saído.

À minha família, pela concretização deste meu sonho. Um obrigada jamais será suficiente.

Ao Marcos, por acreditar em mim mais vezes do que eu própria acreditei.

À minha Mãe, o grande pilar da minha vida, por nunca me ter deixado desistir.

RESUMO

Objetivo: Comparar a força de adesão de *brackets* em superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia, preparadas com ácido hidrofúorídrico ou jateamento de óxido de alumínio, utilizando o sistema adesivo Assure® Plus All.

Materiais e métodos: A amostra (n = 72) foi dividida em seis grupos de 12 espécimes. Os Grupos 1, 3 e 5, compostos por superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia, respetivamente, foram preparadas com ácido hidrofúorídrico a 9,6 %, e os Grupos 2, 4 e 6, compostos por superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia, respetivamente, foram preparados com jateamento de óxido de alumínio de 50 µm. Foram colados *brackets* utilizando o sistema adesivo Assure® Plus All. A amostra foi sujeita a 10 000 ciclos termais a 5° e a 55°C. A força de adesão foi obtida pelo teste de cisalhamento à velocidade de 1 mm/min. O Índice de Remanescente Adesivo analisou as falhas adesivas. Foram realizados os testes ANOVA One-way e Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$).

Resultados: Os valores médios de força de adesão dos *brackets* nos Grupos 1, 3 e 5 foram de $7,16 \pm 1,46$ MPa, $9,27 \pm 2,34$ MPa e $8,51 \pm 1,99$ MPa, respetivamente, e nos Grupos 2, 4 e 6 foram de $7,48 \pm 1,84$ MPa, $4,41 \pm 1,99$ MPa e $4,26 \pm 2,78$ MPa, respetivamente. Verificaram-se diferenças estatisticamente significativas na força de adesão dos diferentes grupos.

Conclusão: O ataque com ácido hidrofúorídrico é eficaz na colagem de *brackets* a superfícies dos três tipos de cerâmica, utilizando o sistema adesivo Assure® Plus All. Já o jateamento de óxido de alumínio apenas se mostrou eficaz na colagem de *brackets* a superfícies de cerâmica feldspática.

Palavras-chave: força de adesão, *brackets*, cerâmica, preparação micro-mecânica.

ABSTRACT

Aim: Comparison of the bond strength of brackets on feldspathic porcelain, lithium disilicate porcelain and zirconium surfaces, prepared with hydrofluoric acid or aluminum oxide blasting, using the adhesive system Assure® Plus All.

Materials and methods: The sample (n = 72) was divided into six groups of 12 specimens. Groups 1, 3 and 5, composed of feldspathic porcelain, lithium disilicate porcelain and zirconium surfaces, respectively, were prepared with 9.6% hydrofluoric acid, and Groups 2, 4 and 6, composed of feldspathic porcelain, lithium disilicate porcelain and zirconium surfaces, respectively, were prepared with 50 µm aluminum oxide blasting. Brackets were adhered using the adhesive system Assure® Plus All. The sample was subjected to 10 000 thermal cycles at 5° and 55°C. The bond strength was obtained with the shear test, at a crosshead speed of 1 mm/min. The Adhesive Remnant Index analyzed the adhesive failures. ANOVA One-way and Kruskal-Wallis tests ($p \leq 0.05$) were performed.

Results: The medium values of brackets' bond strength in Groups 1, 3 and 5 were 7.16 ± 1.46 MPa, 9.27 ± 2.34 MPa and 8.51 ± 1.99 MPa, respectively, and in Groups 2, 4 and 6 were 7.48 ± 1.84 MPa, 4.41 ± 1.99 MPa and 4.26 ± 2.78 MPa, respectively. There were statistically significant differences in the bond strength of the different groups.

Conclusion: The attack with hydrofluoric acid is effective in bonding brackets to surfaces of the three types of porcelain, using the Assure® Plus All adhesive system. Aluminum oxide blasting was only effective in bonding brackets to feldspathic porcelain surfaces.

Keywords: bond strength, brackets, porcelain, micro-mechanical preparation.

INDÍCE GERAL

I.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	Contextualização e justificação do trabalho	13
1.2.	Objetivos	14
1.3.	Metodologia de investigação	14
1.4.	Questões de investigação	15
1.5.	Revisão bibliográfica	19
1.5.1.	Adesão	19
1.5.1.1.	Breve evolução da adesão em Ortodontia	19
1.5.1.2.	Força de adesão em Ortodontia	20
1.5.1.3.	Adesão de brackets às cerâmicas	23
1.5.2.	Fatores condicionantes da força de adesão de <i>brackets</i> às cerâmicas	23
1.5.2.1.	Estrutura e composição das cerâmicas	24
1.5.2.2.	Preparação micro-mecânica das cerâmicas	25
1.5.2.3.	Preparação química das cerâmicas	27
1.5.3.	Estudos precedentes de diferentes métodos de preparação micro-mecânica das cerâmicas na adesão em Ortodontia	29
II.	MATERIAIS E MÉTODOS	37
2.1.	Métodos de pesquisa bibliográfica	37
2.2.	Tipo de estudo	37
2.3.	Local de estudo	37
2.4.	Amostra	38
2.4.1.	Etapas de fabricação da amostra	39
2.4.2.	Grupos de estudo	41
2.5.	Métodos	42
2.5.1.	Colagem dos <i>brackets</i>	42
2.5.2.	Armazenamento da amostra	46

2.5.3.	Envelhecimento da amostra.....	46
2.5.4.	Determinação da força de adesão	47
2.5.5.	Análise da falha de adesão.....	50
2.6.	Metodologia estatística	51
III.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
3.1.	Resultados.....	53
3.1.1.	Teste de cisalhamento.....	53
3.1.2.	Índice de Remanescente Adesivo (ARI)	56
3.2.	Discussão	58
3.2.1.	Escolha da investigação.....	58
3.2.2.	Escolha dos métodos	59
3.2.3.	Discussão dos resultados	61
3.2.4.	Limitações da investigação.....	67
3.2.5.	Sugestões para estudos futuros	68
IV.	CONCLUSÃO	69
V.	BIBLIOGRAFIA	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Blocos de cerâmica feldspática, com quatro faces vestibulares de pré-molares cada.....	38
Figura 2: Blocos de cerâmica de dissilicato de lítio, com quatro faces vestibulares de pré-molares cada.....	38
Figura 3: Blocos de zircónia, com quatro faces vestibulares de pré-molares cada.	38
Figura 4: Scanner CAD/CAM Vinyl.....	39
Figura 5: Modelo digital de um bloco com quatro faces vestibulares de pré-molares criado com o programa 3D Builder.	40
Figura 6: Fresadora de CAD/CAM CORiTEC 250i.	40
Figura 7: Esquema ilustrativo dos grupos de estudo.	41
Figura 8: Embalagem com brackets de pré-molares Victory Series™ da 3M, de aço inoxidável.	42
Figura 9: Ácido hidrofúorídrico Porc-Etch™ da Reliance.....	43
Figura 10: Jato de óxido de alumínio EtchMaster® da Reliance.	43
Figura 11: Silano Porcelain Conditioner da Reliance e sistema adesivo Assure® Plus All da Reliance.	43
Figura 12: Pasta adesiva Transbond™ XT da 3M.	43
Figura 13: Fotopolimerizador Ortholux™ Luminous Curing Light da 3M.....	43
Figura 14: Esquemática do protocolo de adesão dos brackets às cerâmicas.	45
Figura 15: Estufa incubadora universal Memmert INE 400.	46
Figura 16: Máquina termocicladora Julabo Labortechnik® pronta para iniciar a termociclagem da amostra.	46
Figura 17: Cilindro de resina autopolimerizável preparado com amostra.....	47
Figura 18: Máquina de testes universal Shimadzu Autograph AG-IS.	48
Figura 19: Cilindro de resina preparado com amostra colocado no torno da máquina de testes universal.....	48
Figura 20: Torno da máquina de testes universal protegido com saco de plástico transparente.....	49
Figura 21: Estereomicroscópio Leica MZ6.	49
Figura 22: Determinação da área do bracket através do programa informático ImageJ 1.45m.	50
Figura 23: Boxplot ilustrando a distribuição das variâncias dos diferentes grupos.	54

Figura 24: Frequência absoluta dos tipos de falhas adesivas nos diferentes grupos. 57

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Tabela descritiva de quatro estudos in vitro precedentes.	33
Tabela 2: Cerâmicas e respectivas marcas comerciais utilizadas como amostra.	39
Tabela 3: Produtos e respectivos nomes e marcas comerciais utilizados.	44
Tabela 4: Protocolo de adesão dos brackets às cerâmicas.	44
Tabela 5: Micrografias ilustrativas e a sua pontuação do ARI.	51
Tabela 6: Resumo do processamento de casos dos Grupos 4 e 6.	53
Tabela 7: Análise descritiva dos valores obtidos nos testes de resistência ao cisalhamento (MPa).	54
Tabela 8: Análise das variâncias dos diferentes grupos.	55
Tabela 9: Comparações múltiplas da força de adesão nos diferentes grupos.	55
Tabela 10: Distribuição das pontuações do ARI.	56
Tabela 11: Comparações múltiplas da distribuição das pontuações do ARI nos diferentes grupos.	58

LISTA DE ABREVIATURAS

% - Percentagem

µm – Micrómetro

h – Hora

°C – Grau Celcius

ARI – Índice de Remanescente Adesivo

Bis-GMA - Bisfenol A glicidil metacrilato

MPa – Megapascal

N – Newton

mm² – Milímetro quadrado

mm – Milímetro

pH – Potencial de hidrogénio

HEMA - Hidroxietil metacrilato

10-MDP - 10-metacrilóiloxidecil dihidrogenofosfato

CIV – Cimento de ionómero de vidro

CIVMR - Cimento de ionómero de vidro modificado por resina

Al₂O₃ – Óxido de alumínio

HFA – Ácido hidrofluorídrico

s – Segundos

Psi – Libra por polegada quadrada

Rpm – Rotação por minuto

IUEM - Instituto Universitário Egas Moniz

CAD/CAM - *Computer-aided design and computer-aided manufacturing*

I. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização e justificação do trabalho

É cada vez maior a procura de tratamento ortodôntico por parte dos pacientes em idade adulta¹. Estes com frequência apresentam inúmeras restaurações em boca, feitas com variados materiais, como as cerâmicas e a zircónia. A adesão de *brackets* ortodônticos na superfície destes materiais representa um verdadeiro desafio para a Ortodontia². O sucesso do tratamento ortodôntico está, então, dependente da existência de uma força de adesão suficientemente forte e resistente entre os *brackets* ortodônticos e as referidas superfícies³.

A adesão a superfícies de cerâmica é conseguida através da combinação de dois tipos de retenção - mecânica e química -, sendo a primeira alcançada através da preparação micro-mecânica das superfícies e a segunda através da utilização de elementos químicos⁴.

A retenção mecânica, conseguida pela preparação micro-mecânica das superfícies das cerâmicas, pode ser atingida através de diversos procedimentos, como o tratamento com ácido hidrófluorídrico (procedimento químico) e o jateamento de óxido de alumínio (procedimento mecânico), que têm como objetivo comum aumentar a micro-rugosidade das referidas superfícies⁴. Já a retenção química pode ser assegurada por variadíssimos sistemas adesivos, entre eles o Assure® Plus All* da Reliance, que é indicado tanto para cerâmicas, como para a zircónia, entre outros materiais³.

Perante a multiplicidade de opções de preparação micro-mecânica da superfície dos materiais existentes atualmente, e perante a variedade de restaurações em cerâmica com que nos podemos deparar, é imperativo estudar a eficiência de diferentes métodos de preparação na força de adesão de *brackets* ortodônticos às cerâmicas, utilizando o adesivo Assure® Plus All.

* Reliance Orthodontic Products, Itasca, Illinois, EUA

1.2. Objetivos

O objetivo principal deste estudo foi comparar a força de adesão de *brackets* ortodônticos em diferentes cerâmicas, sujeitas a dois métodos de preparação micro-mecânica prévia, utilizando o adesivo Assure® Plus All.

Mais especificamente, pretendeu-se:

- Comparar a força de adesão de *brackets* colados a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e zircónia, após o ataque com ácido hidrofúorídrico (método convencional) e o jateamento de óxido de alumínio (método recomendado pelo fabricante do adesivo utilizado), utilizando o adesivo Assure® Plus All;
- Comparar a eficácia dos dois métodos de preparação micro-mecânica das cerâmicas na força de adesão de *brackets* ortodônticos às mesmas, aquando da utilização do sistema adesivo Assure® Plus All;
- Comparar o Índice de Remanescente Adesivo (ARI) após a descolagem dos *brackets*.

1.3. Metodologia de investigação

No âmbito da presente investigação, foram utilizados 18 blocos de cerâmica, com quatro faces vestibulares de pré-molares cada, encastrados em cilindros de resina. A amostra total (n = 72) foi dividida em seis grupos, com 12 espécimes cada. Os Grupos 1, 3 e 5, compostos por blocos de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircónia, respetivamente, foram sujeitos ao tratamento de superfície com ácido hidrofúorídrico a 9,6 %. Os Grupos 2, 4 e 6, compostos por blocos de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircónia, respetivamente, foram sujeitos ao tratamento de superfície com o jateamento de óxido de alumínio com partículas de 50 µm. Posteriormente, foram colados *brackets* ortodônticos de pré-molares Victory Series™⁺ nas superfícies das cerâmicas, utilizando o sistema adesivo Assure® Plus All e a pasta adesiva Transbond™ XT[†], segundo as instruções dos fabricantes. De seguida, a amostra foi armazenada por 24h em água destilada a 37°C e, depois, sujeita à termociclagem de 10000 ciclos, com água a 5°

⁺ 3M Unitek, Monrovia, California, EUA

[†] Light Cure; 3M Unitek, Monrovia, Califórnia, EUA

e a 55°C. Mais tarde, foi avaliada a resistência adesiva entre o *bracket* e as cerâmicas, submetendo cada espécime ao teste de cisalhamento, utilizando a máquina de testes universal Shimadzu Autograph AG-IS[§] a uma velocidade de um milímetro por minuto, até à descolagem do *bracket*. Finalmente, o local da falha da adesão foi analisado pelo ARI.

1.4. Questões de investigação

Problema 1: Será que a força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de cerâmica feldspática é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All?

Hipótese nula (H0): A força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de cerâmica feldspática é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Hipótese alternativa (H1): A força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de cerâmica feldspática não é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Problema 2: Será que a força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All?

Hipótese nula (H0): A força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Hipótese alternativa (H1): A força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio não é idêntica quando estas são preparadas

[§] Shimadzu Corporation, Tóquio, Japão

com ácido hidrófluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Problema 3: Será que a força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de zircônia é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrófluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All?

Hipótese nula (H0): A força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de zircônia é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrófluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Hipótese alternativa (H1): A força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de zircônia não é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrófluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Problema 4: Será que a força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrófluorídrico, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All?

Hipótese nula (H0): A força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrófluorídrico, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Hipótese alternativa (H1): A força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia não é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrófluorídrico, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Problema 5: Será que a força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia é idêntica quando estas são preparadas com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All?

Hipótese nula (H0): A força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia é idêntica quando estas são

preparadas com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Hipótese alternativa (H1): A força de adesão de *brackets* ortodônticos a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia não é idêntica quando estas são preparadas com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Problema 6: Será que a falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica feldspática é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All?

Hipótese nula (H0): A falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica feldspática é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Hipótese alternativa (H1): A falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica feldspática não é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Problema 7: Será que a falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All?

Hipótese nula (H0): A falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Hipótese alternativa (H1): A falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio não é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Problema 8: Será que a falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de zircônia é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All?

Hipótese nula (H0): A falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de zircônia é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Hipótese alternativa (H1): A falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de zircônia não é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Problema 9: Será que a falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All?

Hipótese nula (H0): A falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Hipótese alternativa (H1): A falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia não é idêntica quando estas são preparadas com ácido hidrofúorídrico, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Problema 10: Será que a falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia é idêntica quando estas são preparadas com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All?

Hipótese nula (H0): A falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia é idêntica quando estas são preparadas com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

Hipótese alternativa (H1): A falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircónia não é idêntica quando estas são preparadas com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All.

1.5. Revisão bibliográfica

1.5.1. Adesão

1.5.1.1. Breve evolução da adesão em Ortodontia

Quando a aparatologia fixa surgiu na Ortodontia, os *brackets* ortodônticos eram tradicionalmente soldados a bandas de ouro ou de aço inoxidável. Estas circundavam os dentes, exigindo a criação de espaços interproximais para a sua acomodação em redor dos mesmos. O processo necessário à criação dos espaços interproximais, com recurso a arames e elásticos, consumia tempo precioso ao ortodontista e era desconfortável para o paciente. Adicionalmente, no final do tratamento ortodôntico, estes espaços tinham de ser encerrados. A colocação destas bandas estava, muitas vezes, na origem de traumas gengivais e descalcificações no esmalte subjacente. Assim, tornou-se crucial encontrar uma solução que possibilitasse a colocação do *bracket* diretamente sob o esmalte dentário, eliminando a necessidade do uso de bandas. Começou a ser considerado o desenvolvimento de um adesivo que colasse *brackets* ao esmalte em ambiente húmido e que registasse uma força de adesão suficiente para suportar as forças ortodônticas do início ao final do tratamento, e que permitisse o controlo biomecânico dos *brackets*, assim como a sua remoção, sem causar danos significativos ao esmalte⁵.

Miura⁶, no início dos anos 70, desenvolveu uma técnica para colar *brackets* de plástico em esmalte previamente condicionado com ácido ortofosfórico. O autor verificou que a força de adesão diminuía com o tempo, como resultado da exposição aos fluidos orais. Verificou igualmente que as forças inerentes à mastigação, exercidas nos arcos ortodônticos metálicos, levavam à fratura das aletas plásticas dos *brackets*. Ainda assim, esta técnica tornou-se popular por constituir uma alternativa aos *brackets* soldados a bandas e acabou por impulsionar o desenvolvimento dos *brackets* ortodônticos e da adesão em Ortodontia.

Retief et al⁷ desenvolveram posteriormente um adesivo de resina epóxi capaz de colar *brackets* metálicos. Este não experienciava uma contração de polimerização significativa durante a tomada de preza e apresentava o mesmo coeficiente de expansão térmico que o esmalte, assim como uma absorção mínima de água. Estas características garantiam aos *brackets* a força necessária para resistir às forças mecânicas e mastigatórias. O autor desenvolveu ainda uma rede em malha que, sendo colada à base do *bracket*, iria aumentar a retenção mecânica do adesivo.

No início dos anos 80 foram introduzidos, nas várias áreas de Medicina Dentária, os adesivos fotopolimerizáveis, que se tornaram populares na adesão de todo o tipo de aparatologia ortodôntica. O catalisador destes adesivos era a canforoquinona, que polimerizava com comprimentos de onda compreendidos no espectro de luz visível de quartzo-tungsténio-halogénio⁷.

Por sua vez, em 1996, a 3M Unitek introduziu no mercado um sistema de *brackets* metálicos com uma pasta adesiva fotopolimerizável impregnada nas suas bases. Utilizando este sistema, o ortodontista apenas teria de fazer o ataque ácido da superfície do esmalte, seguido da aplicação do adesivo e do posicionamento do *bracket*⁷.

Já em 1998, vários adesivos hidrofílicos foram introduzidos, como o Ortho Solo (Ormco), o MIP (3M) e o Assure® Universal (Reliance), que possibilitaram a adesão de *brackets* ortodônticos ao esmalte, em ambiente seco ou húmido. O Assure®, por conter bisfenol A glicidil metacrilato (Bis-GMA), permitia ainda a adesão ao esmalte atípico, à dentina, ao ouro, à amálgama, ao aço inoxidável e ao compósito, entre outros materiais⁷.

As mudanças registadas ao longo dos últimos 50 anos foram dramáticas: passou-se de se soldarem *brackets* a bandas para se colar diretamente os *brackets* aos dentes. O mesmo só foi possível graças à evolução das técnicas e dos adesivos ortodônticos, que possibilitaram a colagem de *brackets* em estruturas dentárias e não dentárias, tornando o tratamento ortodôntico mais fácil e estético⁵.

1.5.1.2. Força de adesão em Ortodontia

Um tratamento ortodôntico eficaz em pacientes com cerâmicas em boca requer uma força de adesão alta e duradoura entre os *brackets* e as superfícies cerâmicas. O atingimento da máxima força de adesão nem sempre é um objetivo, já que a descolagem do *bracket* com a mínima afeção da superfície cerâmica é igualmente um ponto crítico. Segundo a literatura, estando a força de adesão na ordem dos 6-10 MPa, o descolamento

de *brackets* durante o tratamento ortodôntico será prevenido, evitando o prolongamento desnecessário do mesmo. Da mesma forma, a componente estética e funcional das cerâmicas, após o tratamento, estará assegurada. Por outras palavras, a força de adesão ideal deverá ser aquela que é suficientemente forte para manter os *brackets* aderidos às cerâmicas até ao final do tratamento, resistindo às forças ortodônticas e da mastigação, mas sem danificar as superfícies das mesmas aquando da sua descolagem^{3,8,9}. Aumentando a força de adesão, aumenta a probabilidade de ocorrência de fraturas coesivas das cerâmicas durante a descolagem dos *brackets*. Estudos *in vitro* relatam que uma força de adesão que ultrapasse os 13 MPa aumenta significativamente a probabilidade de ocorrência deste tipo de incidentes. Assim, deve optar-se por métodos que permitam uma força adesiva mínima *in vitro* de 6 a 8 MPa, mas que não ultrapasse os 13 MPa, se o objetivo for fazer aderir dispositivos ortodônticos às cerâmicas⁸.

Em Ortodontia, o adesivo utilizado na colagem de *brackets* ortodônticos deve apresentar determinadas propriedades que facilitem a sua utilização clínica. Deve ter um tempo de trabalho adequado, que possibilite ao clínico o posicionamento correto do *bracket* e a remoção dos excessos. Deve ainda ser fluído, de modo a permitir uma boa integração na superfície em que vai ser colado, e simultaneamente ser viscoso, de forma a manter o *bracket* em posição antes da polimerização. A força de adesão é também uma das características fulcrais de um adesivo ortodôntico. O adesivo deve proporcionar uma força de adesão que seja suficiente para manter colado o *bracket*, de modo a suportar as forças mastigatórias e as forças ortodônticas do tratamento devendo, no entanto, ser de fácil remoção e causar o mínimo efeito na integridade da estrutura do substrato, após o término do tratamento ortodôntico ou aquando da substituição de *brackets* durante o mesmo¹⁰.

O estudo e a avaliação do potencial de adesão são processos complexos, já que múltiplas variáveis podem influenciar a sobrevivência e a longevidade da interface adesivo-*bracket*. Os testes de cisalhamento e de tração são dois exemplos de testes indicados para estudar e avaliar a força dos adesivos ortodônticos. Os testes de cisalhamento são os mais utilizados para este fim, e preconizam que a força aplicada seja paralela ao longo eixo do dente e exercida o mais perto possível da interface adesivo-*bracket*¹¹. A força de adesão pode ser definida como sendo a força por unidade de área necessária para descolar o *bracket* da superfície ao qual está aderido. Para a determinação deste valor, pode utilizar-se uma máquina de testes universal para se efetuarem os testes de resistência ao cisalhamento. Nesta, a força necessária à descolagem do *bracket* é

primeiramente dada em Newtons (N), e é posteriormente convertida em Megapascais (MPa) através da fórmula $MPa = N / mm^2$ (correspondendo os mm^2 à área da base do *bracket*), determinando-se assim a força por unidade de área¹².

Para o estudo e a avaliação do potencial de adesão na colagem de *brackets*, recorre-se ainda ao Índice de Remanescente Adesivo (ARI), com a finalidade específica de analisar a quantidade de adesivo remanescente após a descolagem do *bracket*. Este baseia-se na quantidade de adesivo que, após a descolagem do *bracket*, fica aderida tanto ao substrato como à base do *bracket*. O ARI permite ainda identificar o local em que ocorreu a falha na ligação do adesivo, podendo esta ocorrer na interface substrato-adesivo, na interface adesivo-adesivo ou na interface adesivo-*bracket*. Por ser um método simples e prático, a sua utilização foi amplamente difundida, contribuindo para a padronização dos testes de adesão *in vitro*. O ARI original classifica o adesivo remanescente em quatro pontuações:

- 0: Indica que não permanece nenhum adesivo no substrato, o que implica que a falha de adesão tenha ocorrido na interface substrato-adesivo;
- 1: Indica que menos de metade (<50%) do adesivo permanece no substrato, indicando que a falha de adesão ocorreu predominantemente na interface substrato-adesivo;
- 2: Indica que mais de metade (>50%) do adesivo permanece no substrato, indicando que a falha de adesão ocorreu predominantemente na interface adesivo-*bracket*;
- 3: Indica que todo o adesivo permanece no substrato, com a impressão explícita da base do *bracket*, indicando que a falha de adesão ocorreu na interface adesivo-*bracket*. Por ter um carácter subjetivo, têm sido realizadas adaptações ao ARI original no sentido de desenvolver um método mais objetivo e preciso na avaliação do adesivo remanescente¹³⁻¹⁷.

Existem muitos fatores que podem estar na origem da falha de adesão dos *brackets*, incluindo flutuações de pH existentes no ambiente oral, a carga cíclica complexa da mastigação, variações constantes de temperatura e a consistência dos alimentos, o que torna difícil determinar especificamente as razões que levam à sua descolagem. Considerando cada um destes fatores, a eficácia de qualquer método de adesão (mecânico ou químico) analisado em estudos *in vitro* torna-se questionável. No entanto, se estes forem conduzidos segundo condições padronizadas, podem gerar informações confiáveis, que podem inclusive ser úteis em investigações futuras. Até ao momento, não existe a padronização destes estudos e, portanto, os resultados têm sido inconsistentes. Consequentemente, os estudos não podem ser comparados entre si se

diferentes metodologias, materiais, substratos e *brackets* forem usados. Embora os estudos *in vitro* possam fornecer informações que podem ser extrapoladas para a prática clínica, muitos dos fatores envolvidos dificultam a verdadeira simulação das condições intraorais¹¹.

1.5.1.3. Adesão de *brackets* às cerâmicas

A adesão é definida como uma atração atômica ou molecular entre duas superfícies, sendo promovida pela força de atração de diferentes átomos ou moléculas. O fenômeno de adesão pode ocorrer por meio de mecanismos físicos ou químicos, ou pela combinação dos dois¹⁸.

A adesão entre o adesivo e a cerâmica é o resultado de uma interação físico-química que se dá na interface do adesivo e da cerâmica (substrato). A contribuição física para o processo de adesão depende do tratamento de superfície do substrato. A alteração da sua topografia por corrosão (resultante da ação de um ácido) ou por abrasão (através de partículas aerotransportadas) altera, conseqüentemente, a sua área de superfície e a sua molhabilidade, que estão intimamente relacionadas com o potencial do adesivo, que constitui a contribuição química do processo¹⁸.

A adesão de *brackets* às cerâmicas constitui, desde sempre, um problema para o ortodontista, já que requer uma força de adesão adequada que não comprometa as suas superfícies após a remoção do aparelho ortodôntico⁵. Assim sendo, assume uma perspectiva diferente da Medicina Dentária Restauradora, que procura atingir sempre o estado de adesão mais forte e duradouro¹⁹.

1.5.2. Fatores condicionantes da força de adesão de *brackets* às cerâmicas

As restaurações cerâmicas são cada vez mais frequentes nos pacientes em idade adulta que visam realizar tratamento ortodôntico. Assim, torna-se cada vez mais frequente a necessidade da colocação de *brackets* em restaurações cerâmicas prévias. São várias as questões que poderão surgir ao ortodontista no momento da adesão dos *brackets* às cerâmicas, nomeadamente qual o tipo de cerâmica com o qual está a lidar, qual o procedimento a efetuar para fazer aderir o *bracket* à sua superfície e como garantir a viabilidade estética e funcional da cerâmica após a descolagem do *bracket*²⁰.

A força de adesão de *brackets* às cerâmicas é condicionada por três fatores, incluindo a estrutura e composição das cerâmicas, o método de preparação micro-mecânica das cerâmicas e a sua preparação química²⁰.

1.5.2.1. Estrutura e composição das cerâmicas

As cerâmicas são comumente utilizadas como materiais restauradores sob a forma de facetas, coroas e pontes. Apresentam inúmeras propriedades, nomeadamente biocompatibilidade, excelente estética, insignificante acumulação de placa, baixa expansão térmica, resistência à abrasão e estabilidade da cor. As mais comumente utilizadas são as cerâmicas feldspática, de dissilicato de lítio e zircônia²¹.

As cerâmicas são estruturas não metálicas, inorgânicas, que contêm compostos de oxigênio e um ou mais elementos metálicos ou semi-metálicos (como o alumínio, o boro, o cálcio, o cério, o lítio, o magnésio, o fósforo, o potássio, o silício, o sódio, o titânio e o zircônio). Podem ser classificadas de acordo com os seguintes parâmetros: indicação, composição, fase cristalina e/ou fase vítrea, método de processamento, temperatura de cocção, micro-estrutura, translucidez, resistência à fratura e abrasividade. A fase cristalina normalmente dita a composição das cerâmicas, uma vez que controla as suas propriedades, sendo as partículas cristalinas mais comuns a leucita, o dissilicato de lítio, a alumina, combinações de alumina e zircônia, a zircônia e a hidroxiapatita. A fase vítrea, por sua vez, tem como base a sílica. A maior parte das cerâmicas contêm uma fase cristalina e uma fase vítrea²².

O número crescente de adultos a realizar tratamento ortodôntico está na origem da procura de uma adesão previsível e adequada dos *brackets* às cerâmicas^{8,18}.

Diferentes métodos de preparação micro-mecânica resultam na dissolução preferencial das diferentes fases das cerâmicas, dependendo da sua composição. O condicionamento com ácido hidrófluorídrico é a abordagem convencional de preparação micro-mecânica das cerâmicas à base de sílica. Segundo a literatura, o ácido hidrófluorídrico reage com a fase vítrea deste tipo de cerâmicas, dissolvendo as suas camadas superficiais, o que leva ao aumento da rugosidade de superfície e, conseqüentemente, da energia superficial. A alteração de superfície resulta ainda no aumento da molhabilidade e da área de superfície disponível para a ligação química ao silano^{23,24}. Assim sendo, e considerando a composição das cerâmicas e a sua reatividade química ao ácido hidrófluorídrico, podemos afirmar que existem dois grandes grupos de

cerâmicas, nomeadamente as que têm uma matriz à base de sílica e são ácido-sensíveis, e as que não têm sílica na sua composição e são ácido-resistentes. No primeiro grupo inserem-se as cerâmicas feldspáticas e as de dissilicato de lítio. No segundo grupo insere-se a zircónia, que tem uma estrutura policristalina. Sendo a zircónia uma cerâmica livre de sílica, diz-se ser resistente à técnica convencional descrita de preparação micro-mecânica das cerâmicas^{9,18,25}. Vários estudos têm vindo a relatar que cerâmicas à base de zircónia são resistentes ao ácido hidrófluorídrico devido ao seu alto teor de fase cristalina. Sriamporn et al²⁵, contudo, afirmam que o condicionamento com este ácido é capaz de preparar micro-mecanicamente a zircónia, causando alterações na sua topografia de superfície.

Diferentes estruturas e composições das cerâmicas, associados a diferentes métodos de preparação micro-mecânica, traduzem diferentes valores de adesão de *brackets* às mesmas³. O tipo de cerâmica presente em boca pode ser um fator decisivo para a colagem de acessórios ortodônticos e para o método de alteração da sua superfície antes da colagem²⁶.

1.5.2.2. Preparação micro-mecânica das cerâmicas

A força de adesão existente entre *brackets* e cerâmicas constitui um verdadeiro desafio na prática clínica. Já que qualquer superfície cerâmica é inerte e, como tal, não é passível de ser aderida a nenhum outro material, inúmeras formas de preparação micro-mecânica das cerâmicas têm vindo a ser estudadas, já que se sugere que aumentem a força de adesão^{4,27}.

A retenção adesiva às superfícies cerâmicas é obtida por meio de uma combinação de retenção mecânica e química, isto é, da rugosidade da superfície e da alteração da afinidade de ligação das cerâmicas aos materiais adesivos. A rugosidade de superfície pode ser conseguida através de procedimentos químicos e mecânicos, tendo como objetivo a remoção da camada de glaze e a alteração da topografia da superfície da cerâmica, de forma a garantir uma boa retenção adesiva^{4,27,28}. O condicionamento das cerâmicas com ácido hidrófluorídrico é um procedimento químico confiável, sendo considerado o protocolo convencional para o tratamento de superfície das cerâmicas com matriz à base de sílica, já que possui um efeito de dissolução das suas camadas superficiais. Assim, expõe a sílica para a ligação química com o silano, potenciando a união química dos grupos silicatos das cerâmicas aos grupos metacrilatos do sistema

adesivo. Concentrações ente 4% e 10% são usadas na prática clínica, sendo este intervalo de concentrações considerado seguro. No entanto, precauções devem ser tomadas aquando do seu uso, uma vez que é potencialmente perigoso. O ácido hidrofúorídrico é corrosivo por natureza e extremamente irritante para os tecidos moles, podendo causar queimaduras e levar a necrose dos tecidos^{4,25,27,28}. O ácido ortofosfórico, por sua vez, é menos eficaz do que o ácido hidrofúorídrico devido à ausência do efeito de dissolução em cerâmicas à base de sílica^{4,27}.

Zachrisson et al²⁹ utilizaram o jateamento de óxido de alumínio como um procedimento mecânico para o tratamento das superfícies cerâmicas. Este consiste no jateamento de partículas de alumina na camada de cerâmica, a alta pressão. O sucesso deste método depende do tamanho das partículas, do tempo de aplicação, da distância e do ângulo de impacto. As partículas de alumina podem apresentar diâmetros de 25, 30 e 50 µm. Segundo a literatura, a força de adesão de *brackets* aderidos a cerâmicas preparadas segundo este procedimento pode variar entre valores muito baixos e valores muito elevados⁴.

Outros métodos de preparação micro-mecânica das cerâmicas têm vindo a ser investigados, como o uso de brocas diamantadas, lasers, a combinação do condicionamento com ácido hidrofúorídrico e do jateamento de óxido de alumínio e, finalmente, o jateamento de óxido de alumínio com partículas de alumina revestidas por sílica⁴.

Brocas diamantadas e lasers têm sido usados como geradores de rugosidade de superfícies, mas têm um efeito destrutivo por reduzirem a integridade das cerâmicas.

A combinação do condicionamento com ácido hidrofúorídrico (procedimento químico) e do jateamento de óxido de alumínio (procedimento mecânico) foi considerada um procedimento que não é vantajoso, e que consome tempo e material desnecessariamente⁴.

O jateamento de óxido de alumínio com partículas de alumina revestidas por sílica ou o revestimento triboquímico por sílica prepara mecanicamente as cerâmicas e expõe a sílica que têm na sua composição. As partículas de alumina quimicamente revestidas por sílica são jateadas nas superfícies das cerâmicas, formando uma camada de sílica reativa e facilitando posteriormente a ação do silano na ligação química com o adesivo³⁰. Assim, podem obter-se valores superiores de força de adesão, em comparação com o método do jateamento de óxido de alumínio⁸.

1.5.2.3. Preparação química das cerâmicas

Como referido anteriormente, a adesão de *brackets* às cerâmicas depende da combinação de dois tipos de retenção - mecânica e química -, sendo a primeira alcançada através da preparação micro-mecânica das superfícies e a segunda através do uso de elementos químicos e da alteração da afinidade de ligação das cerâmicas ao mesmo.

A retenção química é primeiramente gerada por agentes de acoplamento de silano. Estes são moléculas compostas por dois grupos funcionais distintos, um grupo que se liga aos grupos silicato das cerâmicas e outro que se une ao metacrilato do sistema adesivo. Desta forma, a sílica da cerâmica é quimicamente conectada ao grupo acrílico do compósito, por meio de silanização. Os agentes de acoplamento de silano, que são amplamente aceites como promotores de adesão na prática clínica aumentam, assim, a ligação química entre a pasta adesiva e a cerâmica. Além disso, contribuem para a melhoria da molhabilidade da superfície cerâmica à pasta adesiva. Investigações anteriores demonstraram existir uma influência significativa dos agentes de acoplamento de silano na força de adesão de *brackets* às cerâmicas. Contudo, foi também demonstrado que apesar de o silano contribuir para a adesão, as forças de adesão obtidas podem não ser adequadas para a ortodontia clínica. Portanto, os agentes de acoplamento de silano são utilizados juntamente com procedimentos químicos e mecânicos que contribuem para a retenção mecânica necessária à adesão de *brackets* às cerâmicas^{4,30,31}. Existem ainda os *primers* de cerâmica que funcionam como agentes de acoplamento de silano, tendo a capacidade de aumentar as forças de adesão entre as cerâmicas à base de sílica e o adesivo, ao promover uma união química entre ambos⁸.

Vários sistemas adesivos foram desenvolvidos nos últimos anos, com o objetivo de facilitar o processo de colagem do *bracket*, encurtando o tempo de cadeira e minimizando as dificuldades técnicas associadas ao procedimento em questão. Um novo tipo de adesivo, conhecido como adesivos universais ou adesivos multiusos, foi recentemente introduzido no mercado. Os fabricantes afirmam que este possui propriedades químicas e mecanismos de adesão únicos, permitindo a colagem de *brackets* em diferentes substratos. Estes podem ser utilizados como *self-etch*, *etch and rinse* e *selective etching mode*, o que permite aos profissionais selecionar o protocolo que consideram ser mais adequado para cada situação clínica. Os adesivos universais podem ligar-se às estruturas dentárias (esmalte e dentina), à resina, ao aço inoxidável, à cerâmica e à zircónia. Contêm bisfenol A glicidil metacrilato (Bis-GMA), hidroxietil metacrilato

(HEMA), 10-metacrilóiloxidecil dihidrogenofosfato (10-MDP) e/ou agentes de acoplamento de silano^{8,21,32}.

Os sistemas adesivos convencionais são demorados e possuem alta sensibilidade técnica. Além disso, acarretam um alto risco de erro, pois possuem múltiplas etapas de aplicação^{8,21,32}.

Na adesão de *brackets* às estruturas dentárias, o sucesso da colagem depende da penetração do adesivo na superfície dentária condicionada, assim como da formação de *resin tags*. No entanto, os mesmos não se formam na superfície das cerâmicas. Por este mesmo motivo, as cerâmicas requerem um tratamento de superfície antes da colagem dos *brackets*^{8,21,32}.

O Assure® Plus All é um sistema adesivo universal recentemente introduzido no mercado. Segundo o fabricante, possibilita uma força de adesão adequadamente alta para esmalte normal e atípico (hipocalcificado e com fluorose), dentina e dentes decíduos, aderindo igualmente a superfícies metálicas como a amálgama, o ouro, o aço inoxidável, e à resina, à cerâmica, à zircônia, às restaurações temporárias e aos pôneicos acrílicos. A capacidade de adesão à cerâmica e à zircônia é o que diferencia este sistema adesivo do seu antecessor, o Assure® Universal. Adicionalmente, o Assure® Plus All é sensível à fotopolimerização, à polimerização química e à polimerização dual. Segundo o fabricante, aquando da utilização do Assure® Plus All, a silanização é dispensada. As instruções dadas pela Reliance para a adesão de *brackets* às cerâmicas incluem a preparação micro-mecânica das suas superfícies com o jateamento de óxido de alumínio, seguida de lavagem com água e secagem com ar, e posteriormente a aplicação do Assure® Plus All, que deve ser levemente secado com ar, sendo os *brackets* posteriormente colados nas superfícies cerâmicas com recurso a uma pasta adesiva³.

No mercado encontra-se disponível uma grande variedade de pastas adesivas para a colagem de *brackets*, isto é, cimentos adesivos, sendo os mais comumente usados em Ortodontia os cimentos de resina e de ionómero de vidro (CIV). Existem ainda os compómeros e os cimentos de ionómero de vidro modificado por resina (CIVMR). São vários os fatores a ter em conta aquando da escolha de um cimento adesivo. De todos os tipos de cimentos, os que têm os maiores valores de força de adesão e que são de mais fácil manipulação são os de resina. Na adesão de *brackets* à cerâmica, o principal fator a considerar é a sua força adesiva. Assim sendo, os cimentos de resina são os cimentos mais procurados pelos ortodontias no momento de colar *brackets* ortodônticos^{8,10}.

1.5.3. Estudos precedentes de diferentes métodos de preparação micro-mecânica das cerâmicas na adesão em Ortodontia

Após a pesquisa de estudos precedentes com objetivos semelhantes aos da presente investigação, foi possível concluir que frequentemente cada estudo é dirigido à avaliação de apenas alguns dos inúmeros aspectos que influenciam a força de adesão de *brackets* às cerâmicas e que, para além disto, não existe a padronização destes estudos. Por esses mesmo motivo, muitas vezes surgem resultados contraditórios^{11,31}.

Até à data, ainda não foi publicado um estudo que afira qual o método mais eficaz de preparação micro-mecânica das cerâmicas feldspática, de dissilicato de lítio e zircónia, aquando da utilização do Assure® Plus All - se o ataque com ácido hidrofúorídrico (método convencional) ou o jateamento de óxido de alumínio (método recomendado pelo fabricante) sendo este, portanto, o principal objetivo de estudo da presente investigação^{11,31}.

Na Tabela 1 encontra-se um resumo de quatro estudos *in vitro* que avaliam a influência de diferentes tipos de preparação micro-mecânica e química na força de adesão de *brackets* a diferentes cerâmicas. Contudo, os resultados destes estudos não podem ser comparados entre si, nem com os resultados da presente investigação, já que muitos fatores influenciam a força de adesão de *brackets* colados a cerâmicas para além dos métodos de preparação mecânica, como o método de preparação química, o tipo de cerâmica, o tipo de *bracket* e a própria metodologia utilizada^{11,31}.

Türk et al³¹ conduziram um estudo cujo objetivo foi determinar os efeitos de vários tipos de condicionamento de superfície na força de adesão de *brackets* a cerâmicas. Foram divididos aleatoriamente em seis grupos 60 espécimes de cerâmica feldspática e 60 espécimes de dissilicato de lítio. A resistência aos testes de cisalhamento e o local das falhas de adesão foram examinados após diferentes métodos de condicionamento de superfície: sem tratamento de superfície, jateamento de óxido de alumínio com partículas de alumina de 25 e 50 µm, condicionamento com ácido hidrofúorídrico a 9,6 % e uso de brocas diamantadas de 40 e 63 µm. O silano e o adesivo Transbond™ XT[‡] foram aplicados em todas as superfícies condicionadas, tendo sido posteriormente colados os *brackets* com compósito Transbond™ XT. De seguida, as amostras foram armazenadas em água destilada a 37°C por uma semana, e depois sujeitas a 500 ciclos termais a 5/55°C.

[‡] Light Cure; 3M Unitek, Monrovia, Califórnia, EUA

Os menores valores de força de adesão verificaram-se com o ácido hidrófluorídrico a 9,6 % nas cerâmicas feldspática e de dissilicato de lítio, tendo sido significativamente diferentes dos valores apresentados pelos outros grupos. Os maiores valores de força de adesão foram encontrados com o uso de brocas diamantadas de 63 µm nas cerâmicas de dissilicato de lítio e feldspática. O jateamento de óxido de alumínio com partículas de alumina de 25 e 50 µm mostrou valores modestos de força de adesão nas cerâmicas de dissilicato de lítio e feldspática. Todos os valores obtidos foram superiores ao intervalo de 6 a 8 MPa, exceto os da cerâmica feldspática com o ácido hidrófluorídrico a 9,6 % e sem tratamento de superfície. Com todos os métodos de condicionamento de superfície, a cerâmica de dissilicato de lítio apresentou valores de força de adesão maiores do que a feldspática. Foram verificadas falhas adesivas na interface cerâmica-adesivo em todos os grupos.

Falkensammer et al⁴ desenvolveram um estudo que teve como objetivo investigar a influência de diferentes procedimentos de condicionamento das cerâmicas na adesão de *brackets* às mesmas. Foram examinados quanto à resistência aos testes de cisalhamento e ao local das falhas de adesão 20 espécimes de cerâmica feldspática, 20 de cerâmica reforçada por leucite, 20 de cerâmica não reforçada por leucite e 20 de cerâmica de fluoroapatite, após serem sujeitos a diferentes métodos de condicionamento de superfície: condicionamento com ácido hidrófluorídrico a 5 % e a 9,6 % e jateamento de óxido de alumínio com partículas de alumina de 50 µm e com óxido de alumínio modificado por sílica. O silano e o adesivo Transbond™ XT foram aplicados em todas as superfícies condicionadas, tendo sido posteriormente colados os *brackets*. De seguida, as amostras foram armazenadas em água destilada a 37°C por 24h, e depois sujeitas a 500 ciclos termais a 5/55°C. O condicionamento com ácido hidrófluorídrico a 5 % e o jateamento de óxido de alumínio com partículas de alumina de 50 µm e com óxido de alumínio modificado por sílica de areia resultou em maiores valores de força de adesão, comparativamente ao condicionamento com ácido hidrófluorídrico a 9,6 %. O tempo de condicionamento com ácido hidrófluorídrico e o tipo de partículas de óxido de alumínio não tiveram influência estatística na força de adesão. Os valores ARI mais altos foram encontrados nos grupos que apresentaram maiores valores de força de adesão. O aumento da adesão de *brackets* às cerâmicas foi associado ao maior risco de danos à superfície das mesmas.

Saraç et al³⁰ realizaram um estudo que procurou investigar os efeitos de dois métodos de condicionamento de superfície na resistência aos testes de cisalhamento de

brackets colados em três diferentes tipos de cerâmica. Foram analisados quanto à resistência aos testes de cisalhamento e ao local das falhas de adesão 20 espécimes de cerâmica feldspática, 20 de cerâmica de fluoro-apatite e 20 de cerâmica reforçada por leucite, após serem submetidos a dois métodos de condicionamento de superfície: jateamento de óxido de alumínio com partículas de alumina de 25 µm e jateamento de óxido de alumínio com partículas de alumina de 30 µm revestidas por sílica. O silano e o adesivo Transbond™ XT foram aplicados em todas as superfícies condicionadas, tendo sido posteriormente colados os *brackets* com compósito Transbond™ XT. De seguida, as amostras foram armazenadas em água destilada a 37°C por uma semana, e depois sujeitas a 1000 ciclos termais a 5/55°C. O maior valor de força de adesão foi verificado na cerâmica reforçada por leucite com o jateamento de óxido de alumínio modificado por sílica, não tendo sido significativamente diferente do das cerâmicas feldspática e de fluoro-apatite. O valor de força de adesão mais baixo foi encontrado na cerâmica de fluoro-apatite com o jateamento de óxido de alumínio com partículas de alumina de 25 µm, não tendo sido significativamente diferente do da cerâmica feldspática, mas tendo sido significativamente menor do que o da cerâmica reforçada por leucite. O jateamento de óxido de alumínio com partículas de alumina de 30 µm revestidas por sílica resultou em maiores valores de força de adesão comparativamente com o jateamento de óxido de alumínio com partículas de alumina de 25 µm. Foram verificadas falhas adesivas na interface cerâmica-adesivo em todos os grupos.

Naesh et al³ compararam a resistência aos testes de cisalhamento de *brackets* colados a dois tipos de cerâmica, usando o adesivo convencional Transbond™ XT e o Assure® Plus All. Foram analisados quanto à resistência aos testes de cisalhamento e ao local das falhas de adesão 40 discos de cerâmica feldspática e 40 de dissilicato de lítio, após a sua preparação micro-mecânica e a sujeição a diferentes tipos de adesivos. Inicialmente, as amostras foram condicionadas com o jateamento de óxido de alumínio com partículas de 50 µm, seguido do ataque com ácido hidrófluorídrico a 9,6 %, e finalmente divididas em dois grupos. No Grupo 1 foi aplicado silano e, de seguida, o adesivo Transbond™ XT, enquanto que no Grupo 2 o adesivo aplicado foi o Assure® Plus All. De seguida, os *brackets* foram colados às amostras com compósito Transbond™ XT. As amostras foram armazenadas em água destilada a 37°C por 24h, e depois sujeitas a 2000 ciclos termais a 5/55°C. Os maiores valores de força de adesão foram encontrados na cerâmica de dissilicato de lítio com o adesivo Assure® Plus All, enquanto que os menores valores de força de adesão registados foram os da cerâmica feldspática com o

adesivo Transbond™ XT. Os valores de força de adesão da cerâmica de dissilicato de lítio com o adesivo Assure® Plus All foram significativamente mais fortes do que os apresentados pela cerâmica feldspática. O valor ARI registado da cerâmica de dissilicato de lítio com Assure® Plus All foi significativamente diferente dos outros grupos, e a quantidade de adesivo remanescente foi maior na superfície da cerâmica de dissilicato de lítio com Assure® Plus All.

Tabela 1: Tabela descritiva de quatro estudos *in vitro* precedentes.

Estudo	Türk et al³¹, 2006	Falkensammer et al⁴, 2011	Saraç et al³⁰, 2011	Naseh et al³, 2018
Amostra	n = 120 60 espécimes de cerâmica feldspática e 60 de cerâmica de dissilicato de lítio	n = 80 20 espécimes de cerâmica feldspática, 20 de cerâmica reforçada por leucite, 20 de cerâmica não reforçada por leucite e 20 de cerâmica de fluoro-apatite	n = 60 20 espécimes de cerâmica feldspática, 20 de cerâmica de fluoro-apatite e 20 de cerâmica reforçada por leucite	n = 40 20 discos de cerâmica feldspática e 20 de cerâmica de dissilicato de lítio
Tipo de brackets	<i>Brackets</i> metálicos de incisivos centrais superiores	<i>Brackets</i> metálicos de incisivos centrais superiores	<i>Brackets</i> metálicos de incisivos centrais superiores	<i>Brackets</i> metálicos de incisivos centrais superiores
Preparação micro-mecânica das cerâmicas	Nenhum tratamento de superfície; jateamento de Al ₂ O ₃ com partículas de 25 µm, à pressão de 36 psi, durante 4 seg e à distância de 10 mm; jateamento de Al ₂ O ₃ com partículas de 50 µm, à pressão de 36 psi, durante 4	Ataque com HFA a 5 %, durante 30 e 60 seg; ataque com HFA a 9,6 %, durante 30 e 60 seg; jateamento de Al ₂ O ₃ com partículas de 50 µm, à pressão de 36 psi, durante 2 seg e à distância de 10 mm; jateamento de Al ₂ O ₃	Jateamento de Al ₂ O ₃ com partículas de 25 µm, à pressão de 36 psi, durante 4 seg, à distância de 10 mm; jateamento de Al ₂ O ₃ modificado por sílica com partículas de 30 µm, à pressão de 36 psi, durante 4 seg e à	Jateamento de Al ₂ O ₃ com partículas de 50 µm, à pressão de 80 psi, durante 5 seg e à distância de 10 mm, seguido de ataque com HFA a 9,6 %, durante 2 min

	seg e à distância de 10 mm; ataque com HFA a 9,6 %, durante 2 min; uso de brocas diamantadas finas (63 µm) e extrafinas (40 µm), a 40 000 rpm	modificado por sílica com partículas de 30 µm, à pressão de 36 psi, durante 2 seg e à distância de 10 mm	distância de 10 mm	
Preparação química das cerâmicas	Silano + Transbond™ XT	Silano + Transbond™ XT	Silano + Transbond™ XT	Silano + Transbond™ XT; Assure® Plus All
Pasta adesiva	Compósito Transbond™ XT	-	Compósito Transbond™ XT	Compósito Transbond™ XT
Armazenamento da amostra	1 semana em água destilada a 37°C	24h em água destilada a 37°C	1 semana em água destilada a 37°C	24h em água destilada a 37°C
Termociclagem	500 ciclos termais a 5°/55°C	500 ciclos termais a 5°/55°C	1000 ciclos termais a 5°/55°C	2000 ciclos termais a 5°/55°C
Velocidade da força	1 mm/min	1 mm/min	1 mm/min	1 mm/min
Resultados	A maior força de adesão registrada foi encontrada na cerâmica de dissilicato de lítio (28.20 MPa) e na cerâmica feldspática (26.38 MPa)	A maior força de adesão registrada foi encontrada em todas as cerâmicas com o ataque com HFA a 5 % e o jateamento de Al ₂ O ₃ modificado ou	A maior força de adesão registrada foi encontrada na cerâmica reforçada por leucite com o jateamento de Al ₂ O ₃ modificado por sílica	A maior força de adesão registrada foi encontrada na cerâmica de dissilicato de lítio com o adesivo Assure® Plus All (20.52 MPa),

	com o uso de brocas diamantadas finas, enquanto a menor força de adesão registada foi a encontrada na cerâmica feldspática com o ataque com HFA (5.39 MPa)	não por sílica (29.74 – 36.80 MPa), enquanto a menor força de adesão registada foi a encontrada em todas as cerâmicas com o ataque com HFA a 9,6 % (9.34 – 15.92 MPa)	(24.17 MPa), enquanto a menor força de adesão registada foi a encontrada na cerâmica de fluoro-apatite com o jateamento de Al_2O_3 (11.82 MPa)	enquanto a menor força de adesão registada foi a encontrada na cerâmica feldspática com o adesivo Transbond™ XT
ARI	(Magnificação x10) As falhas de adesão ocorreram na interface cerâmica-adesivo	(Magnificação x20) O valor ARI registado das cerâmicas sujeitas ao ataque com HFA a 5 % e ao jateamento de Al_2O_3 modificado ou não por sílica foi maior do que o registado pelas cerâmicas sujeitas ao ataque com HFA a 9,6 %	(Magnificação x10) As falhas de adesão ocorreram na interface cerâmica-adesivo	(Magnificação x10) O valor ARI registado da cerâmica de dissilicato de lítio com o adesivo Assure® Plus All foi significativamente diferente dos outros grupos, e a quantidade de adesivo remanescente foi maior na superfície da cerâmica de dissilicato de lítio com o adesivo Assure® Plus All

Efeito de diferentes preparações micro-mecânicas da superfície de diferentes cerâmicas na força de adesão de brackets ortodônticos, utilizando o sistema adesivo Assure Plus All

II. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Métodos de pesquisa bibliográfica

Para a realização da presente investigação e revisão bibliográfica, foi feita uma pesquisa com recurso às bases de dados digitais *PubMed*, *Cochrane*, *SciELO*, *b-on* e *Google Scholar*, tendo sido analisados artigos em português e inglês. As palavras-chave utilizadas foram as seguintes: *shear bond strength*, *brackets*, *porcelain*, *brackets bonding to porcelain*, *micro-mechanical preparation* e *assure plus all*.

Durante a pesquisa, verificou-se a existência de diversos estudos comparativos de diferentes métodos de preparação micro-mecânica das cerâmicas na força de adesão de *brackets*. No entanto, não foi encontrado um estudo que investigasse qual o melhor método de tratamento de superfície das cerâmicas aquando da utilização do sistema adesivo *Assure® Plus All**, ou que comparasse diretamente as formas de preparação micro-mecânica das cerâmicas que a presente investigação comparou. Assim sendo, torna-se imperativo comparar as duas formas de preparação na adesão de *brackets* às cerâmicas com o sistema adesivo *Assure® Plus All*.

2.2. Tipo de estudo

O presente estudo pode ser classificado como uma investigação primária aplicada, quantitativa e experimental. Divide-se em duas componentes: a primeira corresponde à componente teórica, isto é, à revisão bibliográfica, correspondendo a segunda à componente laboratorial, que se enquadra no formato de um estudo experimental *in vitro*.

2.3. Local de estudo

A componente laboratorial da presente investigação decorreu nos laboratórios de Biomateriais e de Morfologia do Instituto Universitário Egas Moniz (IUEM).

* Reliance Orthodontic Products, Itasca, Illinois, EUA

2.4. Amostra

Para a realização do presente estudo foram utilizados 18 blocos de cerâmica encastrados em cilindros de resina, com quatro faces vestibulares de pré-molares cada, perfazendo um total de 72 faces vestibulares de pré-molares. A amostra total ($n = 72$) foi dividida em seis grupos, com 12 espécimes cada, sendo os Grupos 1 e 2 compostos por blocos de cerâmica feldspática (Figura 1), os Grupos 3 e 4 compostos por blocos de cerâmica de dissilicato de lítio (Figura 2) e, finalmente, os Grupos 5 e 6 compostos por blocos de zircônia (Figura 3). As cerâmicas e respectivas marcas comerciais utilizadas como amostra constam na Tabela 2.



Figura 1: Blocos de cerâmica feldspática, com quatro faces vestibulares de pré-molares cada.



Figura 2: Blocos de cerâmica de dissilicato de lítio, com quatro faces vestibulares de pré-molares cada.



Figura 3: Blocos de zircônia, com quatro faces vestibulares de pré-molares cada.

Tabela 2: Cerâmicas e respectivas marcas comerciais utilizadas como amostra.

Cerâmica	Feldspática	Dissilicato de lítio	Zircónia
Marca comercial	Vitablocs® Mark II**	IPS e.max® CAD**	3M Lava™ Esthetic††

2.4.1. Etapas de fabricação da amostra

Primeiramente, foi feita uma digitalização de um pré-molar com o *scanner* CAD/CAM Vinyl^{§§} (Figura 4). O passo seguinte passou por se criar um modelo digital de um bloco com quatro faces vestibulares de pré-molares, através do programa digital 3D Builder^{***} (Figura 5). Depois, foi realizada a fresagem dos blocos dos três tipos de cerâmica, tendo sido utilizado o programa digital iCAM V5 smart⁺⁺⁺ e a fresadora de CAD/CAM CORiTEC 250i^{†††} (Figura 6). Por último, as amostras de cerâmica feldspática receberam polimento manual, enquanto que as de dissilicato de lítio e de zircónia foram cozidas em fornos de cerâmica e de sinterização, respetivamente.

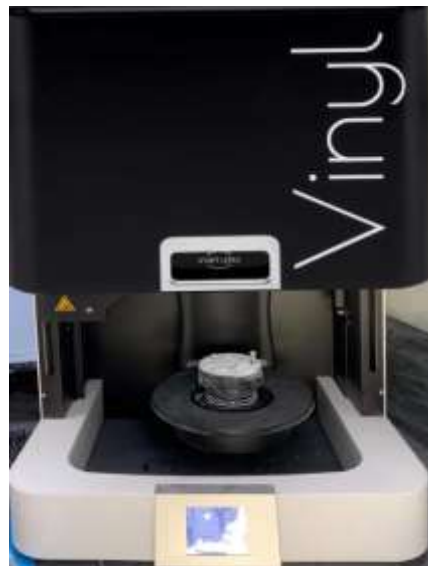


Figura 4: Scanner CAD/CAM Vinyl.

** VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany

++ Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein

†† 3M Deutschland GmbH, Neuss, Germany

§§ Smart Optics Sensortechnik GmbH, Bochum, Germany

*** 3D Builder, © Microsoft Corporation

+++ imes-icore® GmbH, Eiterfeld, Germany

††† imes-icore® GmbH, Eiterfeld, Germany

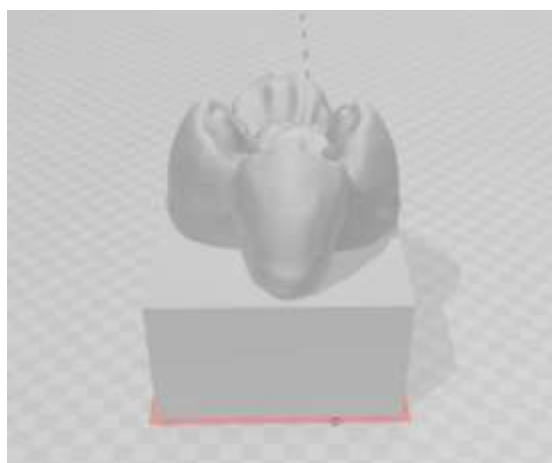


Figura 5: Modelo digital de um bloco com quatro faces vestibulares de pré-molares criado com o programa 3D Builder.



Figura 6: Fresadora de CAD/CAM CORiTEC 250i.

2.4.2. Grupos de estudo

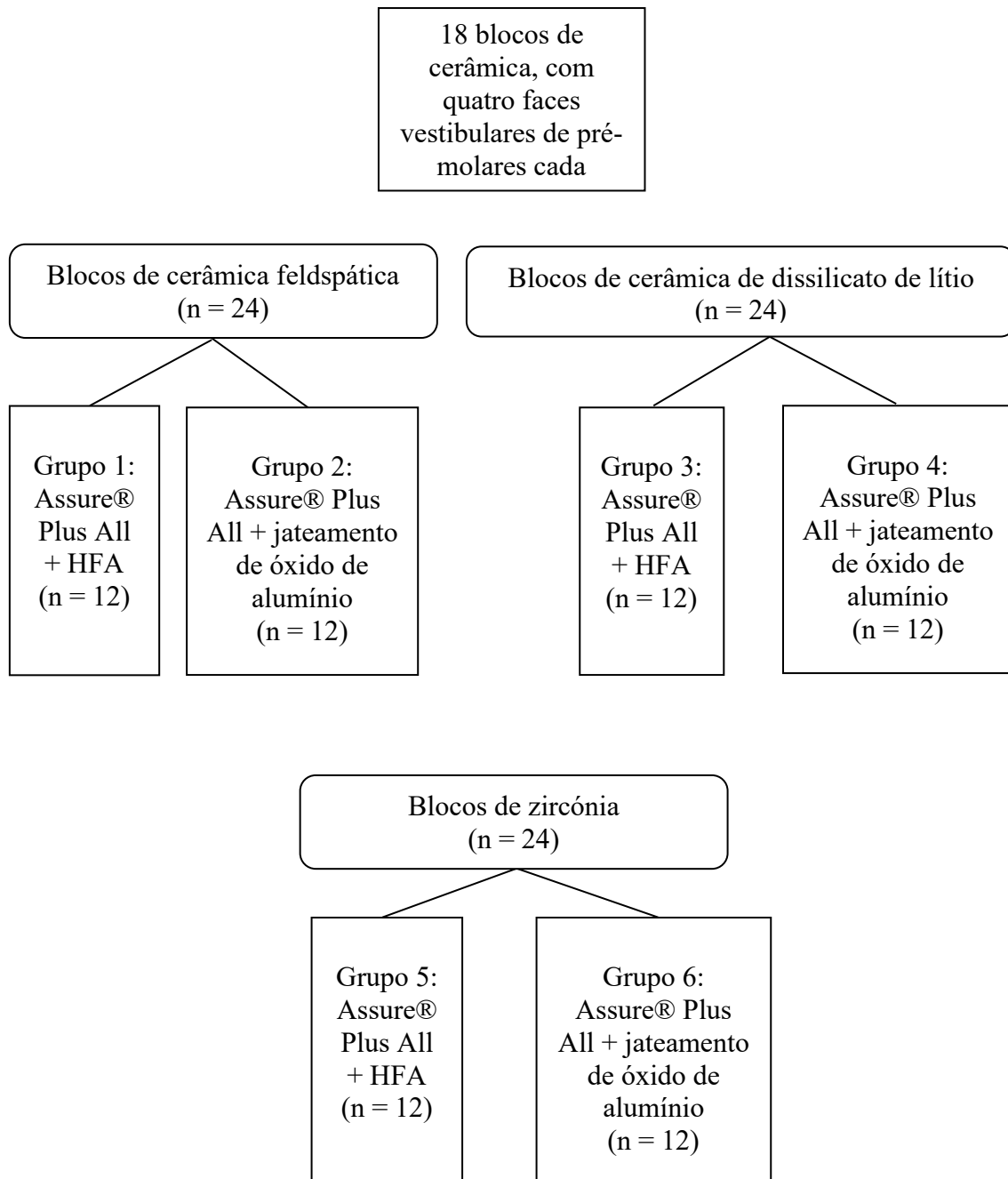


Figura 7: Esquema ilustrativo dos grupos de estudo.

2.5. Métodos

2.5.1. Colagem dos brackets

Para a realização da presente investigação, utilizaram-se 72 brackets de pré-molares Victory Series™⁺ da 3M, de aço inoxidável (Figura 8).



Figura 8: Embalagem com brackets de pré-molares Victory Series™ da 3M, de aço inoxidável.

A colagem dos brackets nas amostras de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia foi protocolizada e executada no mesmo dia. Para efetuar a preparação micro-mecânica das amostras, foi utilizado o ácido hidrófluídrico a 9,6 % Porc-Etch™§§§ da Reliance (Figura 9) nos Grupos 1, 3 e 5, e o jato de óxido de alumínio de 50 µm EtchMaster®**** da Reliance (Figura 10) nos Grupos 2, 4 e 6, de modo a permitir a sua posterior comparação. O sistema adesivo utilizado em todos os grupos foi o sistema adesivo Assure® Plus All da Reliance, precedido da aplicação do silano Porcelain Conditioner++++ da Reliance (Figura 11). Em todos os grupos foi utilizada a pasta adesiva Transbond™ XT† da 3M (Figura 12), tendo sido fotopolimerizada com recurso ao fotopolimerizador Ortholux Luminous Curing Light†††† da 3M (Figura 13). Todos os produtos utilizados na adesão dos brackets às cerâmicas constam na Tabela 3.

⁺ 3M Unitek, Monrovia, California, EUA

§§§ Reliance Orthodontic Products, Itasca, Illinois, EUA

**** Reliance Orthodontic Products, Itasca, Illinois, EUA

++++ Reliance Orthodontic Products, Itasca, Illinois, EUA

† Light Cure; 3M Unitek, Monrovia, California, EUA

†††† 3M Unitek, Monrovia, EUA



Figura 9: Ácido hidrofluorídrico Porc-Etch™ da Reliance.



Figura 10: Jato de óxido de alumínio EtchMaster® da Reliance.



Figura 11: Silano Porcelain Conditioner da Reliance e sistema adesivo Assure® Plus All da Reliance.



Figura 12: Pasta adesiva Transbond™ XT da 3M.



Figura 13: Fotopolimerizador Ortholux™ Luminous Curing Light da 3M.

Tabela 3: Produtos e respectivos nomes e marcas comerciais utilizados.

Produto	Ácido hidrófluorídrico a 9,6 %	Jato de óxido de alumínio de 50 µm	Silano	Sistema adesivo	Pasta adesiva	Fotopolimerizador
Nome comercial	Porc-Etch™	EtchMaster®	Porcelain Conditioner	Assure® Plus All	Transbond™ XT	Ortholux™ Luminous Curing Light
Marca comercial	Reliance	Reliance	Reliance	Reliance	3M	3M

A adesão dos *brackets* às superfícies de cerâmica seguiu o protocolo representado na Tabela 4 e na Figura 14.

Tabela 4: Protocolo de adesão dos *brackets* às cerâmicas.

Protocolo de adesão dos <i>brackets</i> às cerâmicas	1- Profilaxia da superfície de cerâmica com escova e pasta pedra-pomes com água;
	2- Lavar com água;
	3- Secar com jato de ar;
	4- Ataque com ácido hidrófluorídrico a 9,6 %, por 2 minutos ou jateamento de óxido de alumínio de 50 µm, à pressão de 40 psi, por 3 segundos, à distância de 1-2 mm;
	5- Lavar com água por 30 segundos;
	6- Secar com jato de ar por 30 segundos;
	7- Aplicar uma camada fina de silano e aguardar 60 segundos;
	8- Secar com jato de ar;
	9- Aplicar uma camada de Assure® Plus All e não fotopolimerizar;
	10- Secar cuidadosamente com jato de ar;
	11- Aplicar a pasta adesiva Transbond™ XT na base do <i>bracket</i> ;
	12- Assentar o <i>bracket</i> na superfície de cerâmica e ajustar até à posição final;
	13- Retirar com uma sonda os excessos da pasta adesiva, sem alterar a posição do <i>bracket</i> ;
	14- Fotopolimerizar por 10 segundos a mesial e 10 segundos a distal.

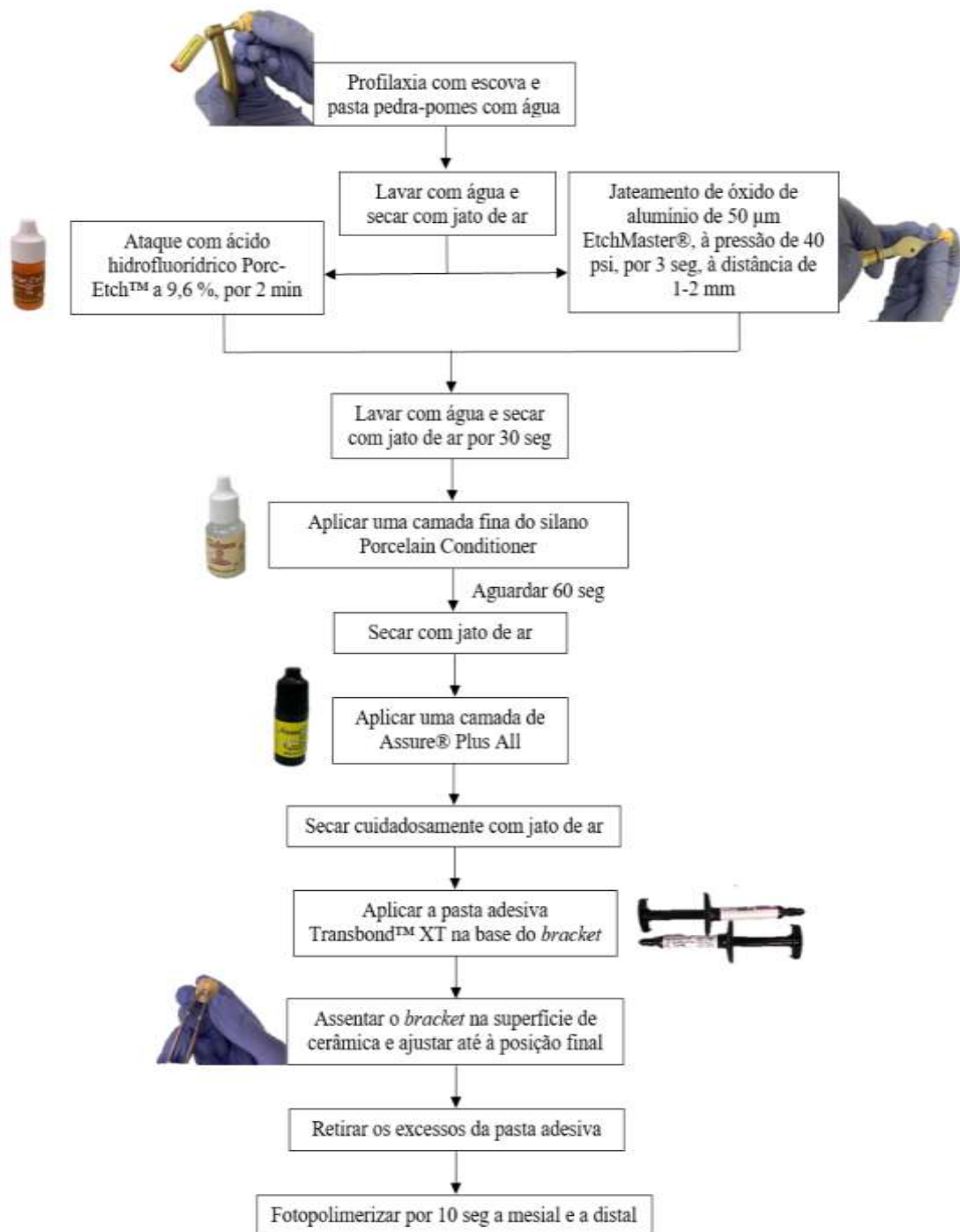


Figura 14: Esquematização do protocolo de adesão dos *brackets* às cerâmicas.

2.5.2. Armazenamento da amostra

A amostra foi posteriormente armazenada em água destilada a 37°C, por 24 horas, na estufa incubadora universal Memmert INE 400^{§§§§33-36} (Figura 15).



Figura 15: Estufa incubadora universal Memmert INE 400.

2.5.3. Envelhecimento da amostra

Após o armazenamento, a amostra foi sujeita a 10 000 ciclos termais na máquina termocicladora Julabo Labortech^{®*****}, a 5 e a 55°C. Em cada ciclo, a amostra esteve 20 segundos em banho frio, 20 segundos em banho quente e 20 segundos fora de água³³⁻³⁶. (Figura 16).



Figura 16: Máquina termocicladora Julabo Labortech[®] pronta para iniciar a termociclagem da amostra.

§§§§ Schwabach, Alemanha

***** Seelbach, Alemanha

2.5.4. Determinação da força de adesão

Para se efetuarem os testes de resistência ao cisalhamento, a amostra foi montada em cilindros de resina autopolimerizável Schütz Futura Self⁺⁺⁺⁺. Para a confecção destes cilindros, foram utilizados cilindros metálicos. Primeiramente, vaselinou-se a parte interna dos cilindros metálicos e, de seguida, encheram-se os mesmos com resina, tendo-se depois colocado na abertura superior a amostra. Após a tomada de presa, os cilindros de resina preparados com a amostra foram removidos do interior dos cilindros metálicos (Figura 17).



Figura 17: Cilindro de resina autopolimerizável preparado com amostra.

Posteriormente, para a determinação da força de adesão, cada espécime foi submetido ao teste de resistência ao cisalhamento na máquina de testes universal Shimadzu Autograph AG-IS[§] (Figura 18). O teste foi efetuado à velocidade de 1mm/min até ocorrer a falha adesiva. A força necessária à descolagem dos *brackets* foi inicialmente registada em Newtons (N) e posteriormente convertida em Megapascais (MPa), através da fórmula $MPa = N / mm^2$ (correspondendo os mm^2 à área da base do *bracket*). Assim, determinou-se a força por unidade de área.

Cada cilindro de resina preparado com amostra foi colocado no torno da máquina de testes universal, garantindo o paralelismo entre a base de cada *bracket* e a ansa do dispositivo desenhado exclusivamente para este teste (Figura 19).

Foi colocado um saco de plástico transparente em redor do torno para que ficassem contidos no seu interior os *brackets* após as falhas adesivas (Figura 20).

⁺⁺⁺⁺ Schütz Dental Group, Rosbach, Germany

[§] Shimadzu Corporation, Tóquio, Japão

Efeito de diferentes preparações micro-mecânicas da superfície de diferentes cerâmicas na força de adesão de brackets ortodônticos, utilizando o sistema adesivo Assure Plus All

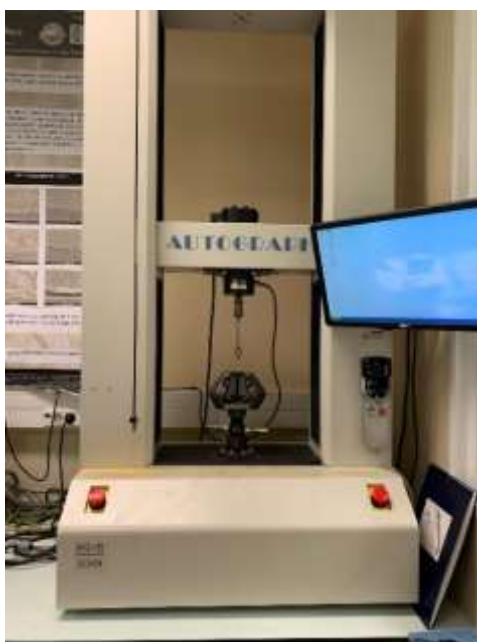


Figura 18: Máquina de testes universal Shimadzu Autograph AG-IS.



Figura 19: Cilindro de resina preparado com amostra colocado no torno da máquina de testes universal.



Figura 20: Torno da máquina de testes universal protegido com saco de plástico transparente.

Para que se pudesse utilizar a fórmula que determina a força por unidade de área necessária à descolagem dos *bracket*, foi necessário determinar a área da base do *bracket*. Assim, foi tirada uma micrografia de um *bracket* novo do mesmo lote com o estereomicroscópio Leica MZ6^{††††}, com a ampliação de 10x (Figura 21). Posteriormente, a micrografia foi processada através do programa informático ImageJ 1.45m^{§§§§}, com a escala pré-definida de 100 μm e uma ampliação de 10x. De seguida, foi feita a conversão de μm para mm. Por fim, utilizando a ferramenta *wand tracing*, foi delimitada a base do *bracket* e posteriormente determinada a sua área, obtendo-se o valor de 9,858 mm² (Figura 22).



Figura 21: Estereomicroscópio Leica MZ6.

^{††††} Leica Microsystems Limitada, Heerbrugg, Suíça
^{§§§§} National Institutes of Health, Maryland, EUA

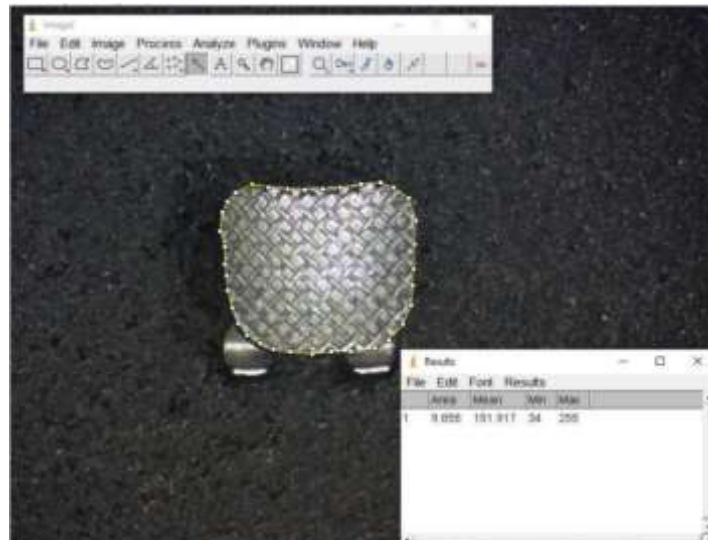


Figura 22: Determinação da área do bracket através do programa informático ImageJ 1.45m.

2.5.5. Análise da falha de adesão

Após os testes de resistência ao cisalhamento, as bases dos *brackets* foram analisadas no estereomicroscópio Leica MZ6, com a ampliação de 10x, e foram tiradas micrografias através do programa informático Leica Application Suite versão 3.8.0*****. Este procedimento teve como objetivo avaliar a quantidade de adesivo remanescente que permaneceu na base do *bracket* e, conseqüentemente, determinar o local da falha adesiva. Foram tiradas micrografias das bases dos *brackets*, já que existe um maior contraste entre o adesivo e a base do *bracket*, do que entre o adesivo e a superfície de cerâmica. Assim, para a classificação da quantidade de adesivo remanescente após a descolagem do *bracket* e para identificar o local em que ocorreu a falha adesiva, foi utilizado o ARI, aplicado segundo a Tabela 5.

**** Leica Microsystems CMG, Suíça

Tabela 5: Micrografias ilustrativas e a sua pontuação do ARI.

Micrografia	Pontuação
	0: Não permanece nenhum adesivo na superfície de cerâmica, o que implica que a falha de adesão tenha ocorrido na interface cerâmica-adesivo;
	1: Menos de metade (<50%) do adesivo permanece na superfície de cerâmica, indicando que a falha de adesão ocorreu predominantemente na interface cerâmica-adesivo;
	2: Mais de metade (>50%) do adesivo permanece na superfície de cerâmica, indicando que a falha de adesão ocorreu predominantemente na interface adesivo-bracket;
	3: Todo o adesivo permanece na superfície de cerâmica, com a impressão explícita da base do <i>bracket</i> , indicando que a falha de adesão ocorreu na interface adesivo-bracket.

2.6. Metodologia estatística

O tratamento estatístico dos valores de força de adesão e do ARI foi realizado com recurso ao programa IBM SPSS Statistics versão 26⁺⁺⁺⁺⁺. A metodologia estatística utilizada foi do tipo descritiva e inferencial.

Foi utilizado o teste ANOVA One-way para comparar os valores médios de força de adesão dos seis grupos. Os pressupostos de aplicação deste teste, nomeadamente a adequação à normalidade e a homogeneidade de variâncias, foram previamente validados. Ainda, de forma a avaliar quais os grupos que diferiam significativamente entre si, foi utilizado o teste de comparações múltiplas de Tukey.

Para avaliar a presença de diferenças significativas entre os valores obtidos através do ARI, foi utilizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, com comparações dos

+++++ IBM, New York, EUA

Efeito de diferentes preparações micro-mecânicas da superfície de diferentes cerâmicas na força de adesão de brackets ortodônticos, utilizando o sistema adesivo Assure Plus All

diferentes grupos pelo teste Parwise. Na análise inferencial foi fixado um nível de significância de 5 % ($p \leq 0,05$).

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Resultados

3.1.1. Teste de cisalhamento

No âmbito da presente investigação, foram utilizados 18 blocos de cerâmica, com quatro faces vestibulares de pré-molares cada, encastrados em cilindros de resina. A amostra total ($n = 72$) foi dividida em seis grupos, com 12 espécimes cada. Os Grupos 1, 3 e 5, compostos por blocos de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircónia, respetivamente, foram sujeitos ao tratamento de superfície com ácido hidrofúorídrico a 9,6 %. Os Grupos 2, 4 e 6, compostos por blocos de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircónia, respetivamente, foram sujeitos ao tratamento de superfície com o jateamento de óxido de alumínio com partículas de 50 μm .

Na Tabela 6 pode observar-se que, nos Grupos 4 e 6, houve o descolamento de *brackets* previamente à realização dos testes de cisalhamento, sendo estes considerados casos omissos. Assim, os casos válidos destes grupos passaram de 12 para 10 e 11, respetivamente.

Tabela 6: Resumo do processamento de casos dos Grupos 4 e 6.

Grupo	Casos					
	Válido		Omisso		Total	
	N	%	N	%	N	%
Grupo 4 (dissilicato de lítio e óxido de alumínio)	10	83,3%	2	16,7%	12	100,0%
Grupo 6 (zircónia e óxido de alumínio)	11	91,7%	1	8,3%	12	100,0%

Na Tabela 7 são apresentados os resultados da análise descritiva, nomeadamente a média, o desvio padrão e os valores mínimos e máximos, dos valores obtidos nos testes de resistência ao cisalhamento de cada um dos grupos.

Tabela 7: Análise descritiva dos valores obtidos nos testes de resistência ao cisalhamento (MPa).

Grupo	N	Média	Desvio padrão	Intervalo (mínimo-máximo)	
1	12	7,16	1,46	5,11	9,55
2	12	7,48	1,84	3,94	9,55
3	12	9,27	2,34	5,51	11,92
4	10	4,41	1,99	1,67	8,52
5	12	8,51	1,99	3,40	11,84
6	11	4,26	2,78	1,30	10,23

Na Figura 23 está representado o gráfico Boxplot correspondente à distribuição das variâncias dos diferentes grupos.

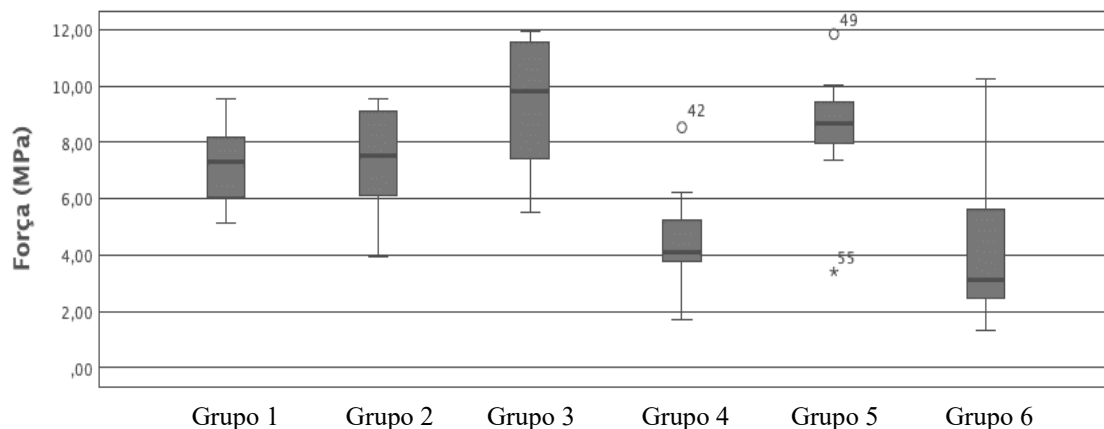


Figura 23: Boxplot ilustrando a distribuição das variâncias dos diferentes grupos.

Para que pudesse ser aplicado o teste ANOVA One-way, foi necessário validar os pressupostos de adequação à normalidade e de homogeneidade de variâncias. Como tal, foram realizados os testes de Kolmogorov-Smirnov e de Levene, respectivamente. Uma vez validados os pressupostos, foi realizado o teste ANOVA One-way, cujos resultados estão expostos na Tabela 8, indicando a presença de diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, no que diz respeito à força de adesão, tendo como referência o nível de significância $p \leq 0,05$.

Tabela 8: Análise das variâncias dos diferentes grupos.

	Soma dos quadrados	df	Quadrado médio	Z	Sig. (p-value)
Entre grupos	241,76	5	48,35	10,98	0,000
Nos grupos	277,57	63	4,41		
Total	519,34	68			

De forma a avaliar quais os grupos que apresentavam diferenças significativas entre si, foi utilizado o teste de Tukey (Tabela 9).

Tabela 9: Comparações múltiplas da força de adesão nos diferentes grupos.

Comparação entre grupos	Sig. (p-value)
1-2	0,999
1-3	0,151
1-4	0,037*
1-5	0,621
1-6	0,018*
2-3	0,304
2-4	0,014*
2-5	0,836
2-6	0,006*
3-4	0,000*
3-5	0,947
3-6	0,000*
4-5	0,000*
4-6	1,000
5-6	0,000*

* $p \leq 0,05$

Através da análise da Tabela 9, podemos concluir que, em termos estatísticos, existem diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre o Grupo 4 (dissilicato de lítio e óxido de alumínio) e os restantes grupos, exceto o Grupo 6 (zircónia e óxido de alumínio) ($p =$

1,000), tal como entre o Grupo 6 (zircônia e óxido de alumínio) e os restantes grupos, exceto o Grupo 4 (dissilicato de lítio e óxido de alumínio) ($p = 1,000$).

Entre os restantes grupos não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas quando comparada a força de adesão.

3.1.2. Índice de Remanescente Adesivo (ARI)

Na Tabela 10 consta a distribuição das pontuações do ARI nos diferentes grupos, onde é possível constatar que em nenhum dos grupos foi atribuída a pontuação 3, e que a pontuação mais frequentemente atribuída foi a 2.

Tabela 10: Distribuição das pontuações do ARI.

Distribuição das pontuações do ARI					
Grupo	N	0	1	2	3
1	12	3	6	3	0
2	12	1	3	8	0
3	12	0	0	12	0
4	12	11	1	0	0
5	12	0	2	10	0
6	12	2	6	4	0

Para além de ter sido utilizado com a finalidade de analisar a quantidade de adesivo remanescente após a descolagem dos *brackets*, o ARI foi igualmente utilizado para caracterizar as falhas adesivas. A pontuação 0 indica que não permaneceu nenhum adesivo na superfície de cerâmica, sugerindo que a falha adesiva tenha ocorrido na interface cerâmica-adesivo. As pontuações 1 e 2 indicam que permaneceu adesivo tanto na superfície de cerâmica como na base do *bracket*, sugerindo uma falha adesiva mista. Por último, a pontuação 3 indica que todo o adesivo permaneceu na superfície de cerâmica, sugerindo que a falha adesiva tenha ocorrido na interface adesivo-*bracket*. A Figura 24 apresenta a frequência absoluta dos tipos de falhas adesivas nos diferentes grupos.

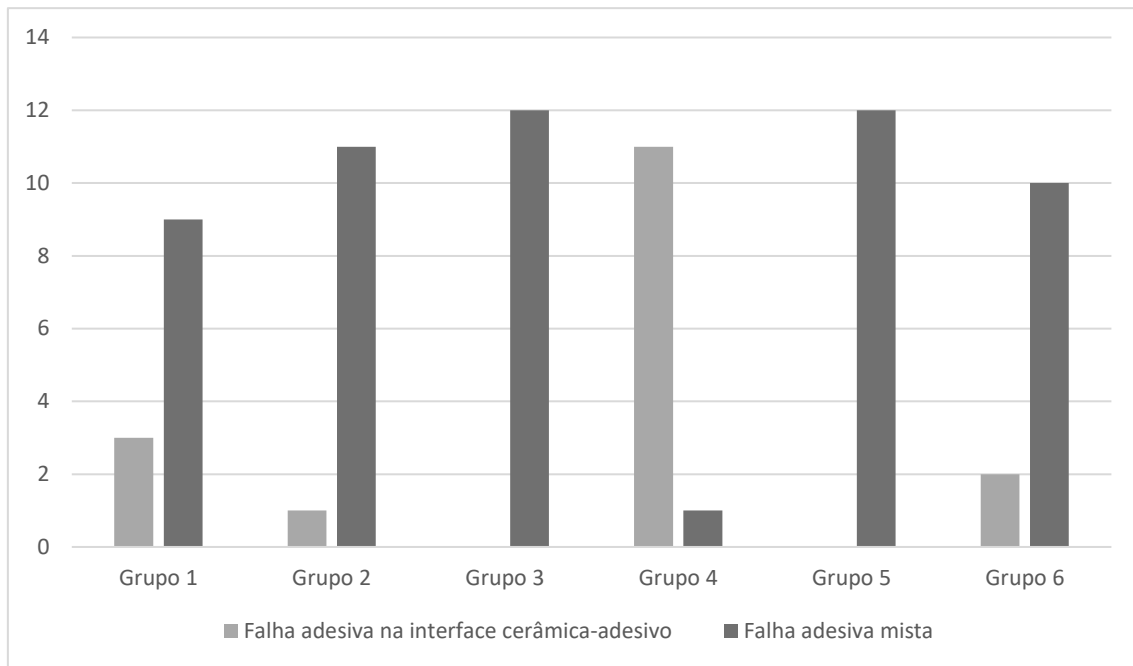


Figura 24: Frequência absoluta dos tipos de falhas adesivas nos diferentes grupos.

Para comparar as pontuações do ARI atribuídas aos diferentes grupos, foi utilizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, que confirmou a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes grupos.

Para avaliar quais os grupos que apresentavam diferenças significativas entre si, foi utilizado o teste de Pairwise (Tabela 11).

Através da análise da Tabela 11, podemos concluir que, em termos estatísticos, existem diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre o Grupo 4 (dissilicato de lítio e óxido de alumínio) e os restantes grupos, tal como entre o Grupo 5 (zircónia e ácido hidrofluorídrico) e os Grupos 1 (feldspática e ácido hidrofluorídrico) e 6 (zircónia e óxido de alumínio).

Entre os restantes grupos não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas quando comparada a distribuição das pontuações do ARI.

Tabela 11: Comparações múltiplas da distribuição das pontuações do ARI nos diferentes grupos.

Comparação entre grupos	Sig. (p-value)
1-2	0,068
1-3	0,068
1-4	0,013*
1-5	0,009*
1-6	0,625
2-3	1,000
2-4	0,000*
2-5	0,440
2-6	0,181
3-4	0,000*
3-5	0,440
3-6	0,181
4-5	0,000*
4-6	0,003*
5-6	0,035*

* $p \leq 0,05$

3.2. Discussão

3.2.1. Escolha da investigação

À medida que a tecnologia digital CAD/CAM é aprimorada, a procura de restaurações de cerâmica aumenta, pelo que novos materiais são constantemente introduzidos no mercado⁹.

As restaurações de cerâmica são hoje mais comumente encontradas em pacientes adultos com indicação para tratamento ortodôntico, havendo a necessidade crescente de colar *brackets* e outros acessórios ortodônticos em restaurações de cerâmica pré-existentes. Contudo, a adesão destes materiais a superfícies de cerâmica representa um verdadeiro desafio na prática clínica. Apesar do desenvolvimento recente de sistemas adesivos que permitem a colagem de *brackets* ortodônticos a materiais diferentes do

esmalte, a colagem de *brackets* a alguns materiais restauradores, como a superfícies de cerâmica, está longe de ser um procedimento previsível e confiável, já que apresenta uma alta taxa de insucesso em comparação com a colagem ao esmalte. O insucesso depende da estrutura e composição da cerâmica, da sua preparação micro-mecânica e química, do tipo de *bracket*, do protocolo utilizado e da experiência do clínico. Dado que as cerâmicas são materiais inertes, a adesão de *brackets* às mesmas requer a combinação de dois tipos de retenção – mecânica e química -, sendo a primeira conseguida através da preparação micro-mecânica das superfícies e a segunda através da utilização de elementos químicos^{21,27,37}.

O Assure® Plus All* é um sistema adesivo que foi recentemente introduzido no mercado. A Reliance defende a utilização do Assure® Plus All após o jateamento de óxido de alumínio, como visto anteriormente. No entanto, na prática clínica, o método de tratamento de superfície das cerâmicas mais comumente utilizado pelos ortodontistas é o condicionamento com ácido hidrófluorídrico. Por este motivo, pela escassez de artigos publicados sobre este sistema adesivo e, ainda, perante a variedade de restaurações de cerâmica com que nos podemos deparar em ambiente clínico, é imperativo comparar a eficácia dos dois métodos de preparação das superfícies de cerâmica referidos, na adesão de *brackets* ortodônticos a cerâmicas, quando utilizando o adesivo Assure® Plus All.

3.2.2. Escolha dos métodos

Para responder aos problemas de investigação propostos, foi desenhado um estudo experimental *in vitro*. Hipoteticamente, os testes *in vivo* em ensaios controlados são a melhor maneira de testar a força de adesão de *brackets*. No entanto, clinicamente, torna-se difícil tirar conclusões precisas sobre a eficácia de determinados procedimentos na força de adesão de *brackets*. Adicionalmente, a qualidade metodológica de ensaios clínicos randomizados *in vivo* é geralmente pobre. Em contrapartida, estudos *in vitro* permitem retirar conclusões mais precisas, que podem inclusive ser extrapoladas para a prática clínica, uma vez que permitem a realização de estudos em ambiente controlado. No entanto, a inexistência da padronização dos estudos de adesão de *brackets* dificulta a comparação dos seus resultados. Consequentemente, estes estudos não podem ser

* Reliance Orthodontic Products, Itasca, Illinois, EUA

comparados entre si pois diferentes metodologias, materiais, substratos e *brackets* são, com frequência, usados³⁸.

O tamanho da amostra da presente investigação foi baseado no tamanho da amostra de estudos precedentes de diferentes métodos de preparação micro-mecânica das cerâmicas na adesão em Ortodontia^{3,4,30,31}.

O Assure® Plus All foi o sistema adesivo selecionado para este estudo, uma vez que é indicado tanto para cerâmicas, como para a zircónia, entre outros substratos³. De acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante, as superfícies de cerâmica devem ser condicionadas com o jateamento de óxido de alumínio com partículas de 50 µm EtchMaster®****. Tendo sido o objetivo principal deste estudo a comparação da eficácia do ataque com ácido hidrofúorídrico e do jateamento de óxido de alumínio na força de adesão de *brackets* ortodônticos às cerâmicas, utilizando o adesivo Assure® Plus All, também se procedeu ao condicionamento das superfícies de cerâmica com ácido hidrofúorídrico a 9,6 % Porc-Etch™§§§.

A amostra foi submersa em água destilada a 37°C, durante 24 horas, com o objetivo de induzir alguma degradação hidrolítica na interface cerâmica-adesivo. De seguida, a amostra foi imediatamente colocada na máquina termocicladora, como previsto pela Norma ISO 29022:2013^{10,39}.

A termociclagem tem como objetivo simular o stress térmico ao qual os materiais dentários e os dentes estão expostos em boca, pelo consumo de bebidas e alimentos com diferentes temperaturas, simulando anos de envelhecimento natural num curto período de tempo. Infelizmente, não existe um protocolo padronizado para o envelhecimento artificial de materiais dentários, apesar do volume de estudos *in vitro* publicados. Sabe-se que 10 000 ciclos termais correspondem a um ano de envelhecimento natural em boca. Tendo em conta a duração média de um tratamento ortodôntico e que excessivos ciclos termais afetam negativamente os valores de força de adesão, o número de ciclos termais escolhido para o envelhecimento da amostra do presente estudo foi 10 000. As temperaturas escolhidas para o efeito foram os 5 e os 55°C, já que se presume que temperaturas entre o 0 e os 68°C sejam consistentes com as temperaturas mínima e máxima registadas na cavidade oral. Em cada ciclo, a amostra esteve 20 segundos em banho frio, 20 segundos em banho quente e 20 segundos fora de água^{33-36,39}.

**** Reliance Orthodontic Products, Itasca, Illinois, EUA

§§§ Reliance Orthodontic Products, Itasca, Illinois, EUA

Os testes de cisalhamento e de tração são dois exemplos de testes indicados para estudar e avaliar a força dos adesivos ortodônticos. Os testes de cisalhamento são os mais frequentemente utilizados para este fim. A amostra da presente investigação foi então submetida a testes de cisalhamento na máquina de testes universal, de forma a que a força aplicada fosse paralela ao longo eixo do espécime e exercida o mais perto possível da interface adesivo-*bracket*. Para tal, foi utilizada uma ansa desenhada exclusivamente para este teste, que teve como encaixe as aletas gengivais dos *brackets* no momento de aplicação da força¹¹. A padronização da velocidade da força aplicada pela máquina de teste universal ainda não existe, sendo que a utilização de diferentes velocidades origina diferenças nos resultados obtidos. O presente estudo regeu-se pela Norma ISO 29022:2013, que recomenda que a velocidade dos testes de cisalhamento seja de 1 mm/min³⁹.

Recorreu-se ainda ao ARI para analisar a quantidade de adesivo remanescente após a descolagem dos *brackets*, assim como para identificar os locais onde ocorreram as falhas adesivas. Foi utilizada uma magnificação de 10x, à semelhança da maioria dos estudos precedentes de diferentes métodos de preparação micro-mecânica das cerâmicas na adesão em Ortodontia^{3,4,30,31}.

3.2.3. Discussão dos resultados

O objetivo principal da presente investigação foi comparar a força de adesão de *brackets* ortodônticos em diferentes cerâmicas, sujeitas a dois métodos de preparação micro-mecânica prévia, utilizando o adesivo Assure® Plus All.

Os resultados obtidos permitem concluir que não existem diferenças estatisticamente significativas na força de adesão de *brackets* colados a superfícies de cerâmica feldspática, quando preparadas com ácido hidrófluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, aceitando-se a hipótese nula do problema 1 da investigação. Pelo contrário, verifica-se a existência de diferenças estatisticamente significativas na força de adesão de *brackets* colados a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio, quando preparadas com ácido hidrófluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, rejeitando-se a hipótese nula do problema 2 da investigação. Do mesmo modo, pode constatar-se que existem diferenças estatisticamente significativas na força de adesão de *brackets* colados a superfícies de zircónia, quando preparadas com ácido hidrófluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, rejeitando-se igualmente a hipótese nula do

problema 3 da investigação. Assim, a força de adesão de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio ou de zircônia, sujeitas à preparação com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio e quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All, não é idêntica, sendo maior após a preparação com ácido hidrofúorídrico.

Relativamente à força de adesão de *brackets* colados a superfícies dos três tipos de cerâmica testadas, quando preparadas com ácido hidrofúorídrico, não são encontradas diferenças estatisticamente significativas, aceitando-se a hipótese nula do problema 4 da investigação. No entanto, verificam-se diferenças significativas na força de adesão entre *brackets* colados a superfícies de cerâmica feldspática e de dissilicato de lítio, e entre *brackets* colados a superfícies de cerâmica feldspática e de zircônia, quando preparadas com jateamento de óxido de alumínio, pelo que se rejeita a hipótese nula do problema 5 da investigação. Assim, a força de adesão de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica feldspática e de dissilicato de lítio, sujeitas à preparação com jateamento de óxido de alumínio e quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All, não é idêntica, tal como não é idêntica entre superfícies de cerâmica feldspática e de zircônia. Contudo, não são encontradas diferenças estatisticamente diferentes na força de adesão de *brackets* colados a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio e de zircônia, quando preparadas com jateamento de óxido de alumínio.

De um modo geral, os valores de força de adesão encontrados nos três tipos de cerâmica, quando preparadas com ácido hidrofúorídrico, foram superiores do que quando preparadas com jateamento de óxido de alumínio, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All. Somente a cerâmica feldspática registou um valor de força de adesão maior quando preparada com jateamento de óxido de alumínio, do que quando preparada com ácido hidrofúorídrico, ainda que não haja uma diferença estatisticamente significativa entre os dois métodos de preparação micro-mecânica. Os valores médios de força de adesão obtidos nos testes de resistência ao cisalhamento nos Grupos 1, 2, 3 e 5 foram de $7,16 \pm 1,46$ MPa, $7,48 \pm 1,84$ MPa, $9,27 \pm 2,34$ MPa e $8,51 \pm 1,99$, respetivamente, encontram-se dentro do intervalo de valores mínimos de força de adesão para a colagem de dispositivos ortodônticos a cerâmicas, que se deve situar entre 6 a 8 MPa^{37,38}. Em contrapartida, os Grupos 4 e 6 do presente estudo, correspondentes à adesão de *brackets* a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio e de zircônia, respetivamente, quando preparadas com jateamento de óxido de alumínio e quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All, registam valores médios de força de adesão insuficientes (4,41

$\pm 1,99$ Mpa e $4,26 \pm 2,78$, respetivamente). Tanto no Grupo 4 como no Grupo 6 houve o descolamento de dois e de um *brackets*, respetivamente, previamente à realização dos testes de cisalhamento.

No estudo de Türk et al³¹, a preparação micro-mecânica de cerâmicas com ácido hidrofluorídrico a 9,6 % regista valores de força de adesão baixos em comparação com outros métodos, como o jateamento de óxido de alumínio com partículas de 50 μ m, não estando os resultados deste estudo em concordância com os da presente investigação. Contudo, noutros estudos^{39,40}, e à semelhança deste, o ácido hidrofluorídrico é considerado um método eficaz para preparar superfícies de cerâmica para adesão de *brackets* às mesmas, uma vez que aumenta a sua retenção mecânica ao criar falhas superficiais através da dissolução preferencial da fase vítrea cerâmica. Os resultados da presente investigação estão igualmente em concordância com o estudo de Bach et al¹, que conclui que a preparação micro-mecânica de superfícies de cerâmica com ácido hidrofluorídrico a 9,6 %, seguido da aplicação de silano, é um tratamento de superfície eficaz, já que resulta em maiores valores de força de adesão, comparativamente com outros tratamentos de superfície, sendo um deles o jateamento de óxido de alumínio. Falkensammer et al⁴ referem que maiores valores de força de adesão são encontrados em superfícies de cerâmica tratadas mecanicamente com ácido hidrofluorídrico a 5 % e com o jateamento de óxido de alumínio modificado ou não por sílica, e menores valores de força de adesão são encontrados quando estas são tratadas mecanicamente com ácido hidrofluorídrico a 9,6 %. Em contrapartida, Mokhtarpour et al²⁴ dizem que não há uma diferença estatisticamente significativa entre as concentrações de 5 % e 9,6 % do ácido hidrofluorídrico na força de adesão de *brackets* a cerâmicas. Ainda, Gillis et al⁴⁵ referem não existir uma diferença estatisticamente significativa entre o jateamento de óxido de alumínio modificado ou não por sílica e o ataque com ácido hidrofluorídrico na preparação das cerâmicas para a adesão de *brackets*. Saraç et al³⁰ afirmam que há diferenças estatisticamente significativas entre o jateamento de óxido de alumínio e o jateamento de óxido de alumínio revestido por sílica na força de adesão de *brackets* colados a superfícies de cerâmica. No entanto, Falkensammer⁴ e Karan et al²⁸ referem que os dois métodos de tratamento de superfície referidos não apresentam diferenças estatisticamente significativas na força adesiva de *brackets* ortodônticos. Naseh et al³ referem que o Assure® Plus All, após o tratamento prévio de superfícies de cerâmica com o jateamento de óxido de alumínio com partículas de 50 μ m, seguido do ataque com ácido hidrofluorídrico a 9,6 %, resulta em valores de força de adesão eficazes. No entanto,

Falkensammer⁴ diz que a combinação dos dois métodos de preparação micro-mecânica das cerâmicas não é vantajosa. Como explicado ao longo do trabalho, os resultados dos inúmeros estudos *in vitro* que avaliam a influência de diferentes tipos de preparação micro-mecânica ou química de cerâmicas na força de adesão de *brackets* às mesmas, dificilmente podem ser comparados entre si, por serem vários os fatores que estão envolvidos na eficácia da adesão. Assim, enquanto não existir consenso na metodologia destes testes e não for estabelecido um protocolo padronizado, não será possível comparar de forma clara e direta os resultados de diferentes estudos^{11,16,31}.

Segundo a literatura, tanto o ataque com ácido hidrofluorídrico como o jateamento com óxido de alumínio tornam as superfícies cerâmicas irregulares por criarem microporosidades na sua estrutura, sendo esta alteração necessária para retenção mecânica dos *brackets* ortodônticos às cerâmicas⁴⁶. Para preparar superfícies de cerâmica feldspática para a colagem de *brackets*, o condicionamento com ácido hidrofluorídrico é um método recomendado, já que se trata de uma cerâmica com matriz à base de sílica, considerada ácido-sensível. A microestrutura deste tipo de cerâmica é alterada pela dissolução da sua fase vítrea pelo ácido. O processo do condicionamento com ácido hidrofluorídrico pode ser explicado pela sua reação preferencial com a fase vítrea da cerâmica, que leva à dissolução das suas camadas superficiais, expondo a sílica (componente base da fase vítrea) para a ligação química com o silano⁴⁷⁻⁵¹. Outro tratamento recomendado é o jateamento de óxido de alumínio, já que este tratamento resulta na alteração da topografia superficial da cerâmica^{48,49}. Todos estes factos justificam a igual eficácia do ataque com ácido hidrofluorídrico e do jateamento de óxido de alumínio na força de adesão de *brackets* a superfícies de cerâmica feldspática com o sistema adesivo Assure® Plus All. A cerâmica de dissilicato de lítio, à semelhança da feldspática, tem uma matriz à base de sílica. Contudo, é também composta por partículas cristalinas de dissilicato de lítio, que estão dispostas na matriz de forma intercalada, orientadas aleatoriamente. Sendo uma cerâmica com matriz à base de sílica, é ácido-sensível, pelo que o ataque com ácido hidrofluorídrico é um método eficaz na sua preparação para a adesão de *brackets*. O ácido reage com a sua fase vítrea, dissolve as suas camadas superficiais e expõe as partículas cristalinas de dissilicato de lítio⁵⁴. Porém, é precisamente pela existência destas partículas que o jateamento de óxido de alumínio não é capaz de produzir uma alteração superficial que garanta uma boa preparação micro-mecânica para a adesão de *brackets* a este tipo de cerâmica. Por esta mesma razão, os valores de força de adesão de *brackets* colados a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio preparadas com jateamento de óxido de

alumínio são inferiores quando comparados aos conseguidos pelo ataque com ácido hidrófluorídrico⁵⁴⁻⁵⁶. Assim, justifica-se a existência de diferenças estatisticamente significativas na força de adesão de *brackets* colados a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio, quando preparadas com ácido hidrófluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio e quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All. A zircónia, por sua vez, tem uma estrutura policristalina e não é constituída por uma matriz à base de sílica como as cerâmicas anteriores. Por esta razão, vários estudos têm vindo a relatar que a zircónia é resistente à ação do ácido hidrófluorídrico⁵⁷⁻⁶⁵. Contudo, estudos recentes afirmam que o ácido hidrófluorídrico pode efetivamente alterar a sua superfície, ao corroer as partículas cristalinas de zircónia^{25,62}. Sendo um material policristalino, a sua reatividade química depende da orientação cristalográfica. Assim, a ação do ácido hidrófluorídrico na zircónia pode ser explicada pelo facto de os átomos que se encontram à volta das partículas cristalinas serem mais quimicamente reativos do que aqueles que se encontram dentro das mesmas, dissolvendo-se mais rapidamente. Isto leva à formação de ranhuras em redor das partículas cristalinas, que acabam por se dissolver gradualmente e reduzir de tamanho²⁵. O jateamento de óxido de alumínio é capaz de modificar a superfície da zircónia. Porém, é fundamental associar este método de preparação micro-mecânica ao uso de promotores de retenção química para se promover adesão à zircónia. Atualmente, sistemas adesivos baseados em 10-MDP são usados com este propósito⁶⁷. O 10-MDP apresenta dois grupos funcionais terminais, um com ácido fosfórico que reage com a zircónia e outro que permite a copolimerização com a pasta adesiva. Contudo, vários autores referem que a termociclagem afeta fortemente a ligação entre a zircónia preparada com jateamento de óxido de alumínio e os sistemas adesivos à base de 10-MDP, o que compromete a eficácia deste tratamento de superfície na força de adesão de *brackets* à zircónia⁶⁸⁻⁷⁰. O revestimento triboquímico por sílica é outro método usado para promover a adesão de *brackets* à zircónia. Inúmeros estudos afirmam que este procedimento, seguido da aplicação de agentes de acoplamento de silano, é mais resistente à termociclagem do que o jateamento de óxido de alumínio seguido da aplicação de sistemas adesivos baseados em 10-MDP^{67,68}. Tendo sido a amostra da presente investigação submetida a 10 000 ciclos termais no seu processo de envelhecimento, e sendo o 10-MDP um dos constituintes do Assure® Plus All, justifica-se a existência de diferenças estatisticamente significativas na força de adesão de *brackets* colados a superfícies de zircónia, quando preparadas com ácido hidrófluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio e quando utilizado este sistema adesivo.

Relativamente ao ARI, os resultados da presente investigação demonstram que não existem diferenças estatisticamente significativas na falha adesiva de *brackets* colados a superfícies de cerâmica feldspática, quando preparadas com ácido hidrofluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, aceitando-se a hipótese nula do problema 6 da investigação. Contudo, existem diferenças estatisticamente significativas na falha adesiva de *brackets* colados a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio, quando preparadas com ácido hidrofluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, rejeitando-se a hipótese nula do problema 7 da investigação. Assim, a falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio, quando preparadas com ácido hidrofluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio e quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All, não é idêntica. Também foram identificadas diferenças estatisticamente significativas na falha adesiva de *brackets* colados a superfícies de zircónia, quando preparadas com ácido hidrofluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio, rejeitando-se a hipótese nula do problema 8 da investigação. Assim, a falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de zircónia, quando preparadas com ácido hidrofluorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio e quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All, não é idêntica.

Relativamente ao ARI nos três tipos de cerâmica, os resultados obtidos mostram que não existem diferenças significativas na falha adesiva entre *brackets* colados a superfícies de cerâmica feldspática e de dissilicato de lítio, e entre *brackets* colados a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio e de zircónia, quando preparadas com ácido hidrofluorídrico. Contudo, existem diferenças significativas na falha adesiva de *brackets* colados a superfícies de cerâmica feldspática e de zircónia, quando preparadas com ácido hidrofluorídrico, rejeitando-se a hipótese nula do problema 9 da investigação. Assim, a falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircónia, quando preparadas com ácido hidrofluorídrico e quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All, não é idêntica. Por último, não existem diferenças significativas na falha adesiva de *brackets* colados a superfícies de cerâmica feldspática e de zircónia, quando preparadas com jateamento de óxido de alumínio. Contudo, existem diferenças significativas na falha adesiva entre *brackets* colados a superfícies de cerâmica feldspática e de dissilicato de lítio, e entre *brackets* colados a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio e de zircónia, quando preparadas com jateamento de óxido de alumínio, rejeitando-se a hipótese nula do problema 10 da investigação. Assim, a falha adesiva de *brackets* ortodônticos colados a superfícies de

cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircônia, quando preparadas com jateamento de óxido de alumínio e quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All, não é idêntica.

O ARI indica que houve maior frequência de falhas adesivas mistas nos grupos preparados com ácido hidrófluorídrico, apesar de também se verificarem falhas adesivas na interface cerâmica-adesivo nos Grupos 1 e 2. O mesmo acontece nos grupos preparados com jateamento de óxido de alumínio, embora no Grupo 4 e 6 também se tenham verificado falhas adesivas na interface cerâmica-adesivo. No Grupo 4, a frequência de falhas adesivas na interface cerâmica-adesivo foi francamente maior do que a frequência de falhas mistas. Na descolagem de *brackets* de dentes, a falha de adesão que ocorre na interface dente-adesivo é preferível porque não resulta em restos de adesivo na superfície do esmalte, o que é uma vantagem em ambiente clínico. Contudo, na descolagem de *brackets* de superfícies de cerâmica, é preferível que a falha de adesão ocorra na interface adesivo-*bracket*, de forma a prevenir a fratura da cerâmica, sendo que forças de adesão superiores a 13 MPa estão associadas a um maior risco deste tipo de incidentes. Neste caso, o adesivo remanescente é posteriormente removido com instrumentos rotatórios das superfícies de cerâmica. A falha de adesão que ocorre na interface cerâmica-adesivo pode estar relacionada com valores de força de adesão mais fracos. No entanto, as pontuações do ARI não representam fielmente as forças de adesão. Assim, as falhas de adesão não podem ser previstas com base nos valores de força de adesão. A análise das falhas de adesão mostra os possíveis efeitos colaterais da descolagem de *brackets* de superfícies de cerâmica. Danos nas cerâmicas podem exigir a sua substituição, pelo que é extremamente importante minimizar o risco da sua ocorrência, tanto quanto possível^{3,20,21,69,70}.

3.2.4. Limitações da investigação

A principal limitação que surgiu no decurso da presente investigação foi o custo das cerâmicas utilizadas que, por ser elevado, levou à decisão de se realizarem blocos de cerâmica com quatro faces vestibulares de pré-molares cada. O *design* da amostra dificultou a aplicação de uma força paralela ao longo eixo dos espécimes no momento da realização dos testes de cisalhamento.

Outra limitação encontrada foi a escassez notória de estudos onde fosse utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All na adesão de *brackets* às cerâmicas, relacionada

possivelmente com o facto de ser um produto recente, o que impossibilitou a comparação direta dos resultados deste estudo com os de outros.

Finalmente, o facto de não existir a padronização dos estudos *in vitro* que avaliam a influência de diferentes tipos de preparação micro-mecânica ou química de cerâmicas na força de adesão de *brackets* às mesmas também representou uma limitação à realização do presente estudo. A inexistência de um consenso na metodologia utilizada nos estudos impede a comparação dos seus resultados e gera, com frequência, resultados contraditórios, o que dificulta a pesquisa e o enquadramento bibliográfico de novos investigadores.

3.2.5. Sugestões para estudos futuros

No futuro, seria pertinente a elaboração de um protocolo padronizado para o estudo *in vitro* da força de adesão de *brackets* e para a extrapolação de resultados precisos, confiáveis e comparáveis entre si.

Seria igualmente pertinente que, futuramente, se desenvolvessem estudos que, à semelhança deste, comparassem a eficácia do ataque com ácido hidrofúorídrico e do jateamento de óxido de alumínio na força de adesão de *brackets* às cerâmicas, aquando da utilização do sistema adesivo Assure® Plus All.

IV. CONCLUSÃO

A partir da presente investigação, são várias as conclusões a serem retiradas:

- Não existem diferenças estatisticamente significativas na força de adesão de *brackets* colados a superfícies de cerâmica feldspática, quando preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio e quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All*;
- Existem diferenças estatisticamente significativas na força de adesão de *brackets* colados a superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio, quando preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio e quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All, sendo maior após a preparação com ácido hidrofúorídrico;
- Existem diferenças estatisticamente significativas na força de adesão de *brackets* colados a superfícies de zircónia, quando preparadas com ácido hidrofúorídrico ou com jateamento de óxido de alumínio e quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All, sendo maior após a preparação com ácido hidrofúorídrico;
- O ataque com ácido hidrofúorídrico em superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircónia, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All, regista valores médios de força de adesão satisfatórios;
- O jateamento de óxido de alumínio em superfícies de cerâmica feldspática, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All, regista valores médios de força de adesão satisfatórios;
- O jateamento de óxido de alumínio em superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio e de zircónia, quando utilizado o sistema adesivo Assure® Plus All, regista valores médios de força de adesão insuficientes;
- O ataque com ácido hidrofúorídrico em superfícies de cerâmica feldspática, de dissilicato de lítio e de zircónia, seguido da aplicação do sistema adesivo Assure® Plus All, é eficaz na colagem de *brackets* às mesmas;
- O jateamento de óxido de alumínio, seguido da aplicação do sistema adesivo Assure® Plus All, só é eficaz na colagem de *brackets* a superfícies de cerâmica

* Reliance Orthodontic Products, Itasca, Illinois, EUA

feldspática, não sendo eficaz em superfícies de cerâmica de dissilicato de lítio e de zircónia;

- Partindo do pressuposto que, no momento da colagem dos *brackets*, o clínico não sabe com que tipo de cerâmica se está a deparar, o ataque com ácido hidrofluorídrico é o método de preparação micro-mecânica recomendado, já que é eficaz em todas as cerâmicas estudadas;
- As falhas adesivas foram maioritariamente mistas em todos os grupos, à exceção do Grupo 4 (dissilicato de lítio e óxido de alumínio), onde a falha adesiva ocorreu na sua maioria na interface cerâmica-adesivo.

V. BIBLIOGRAFIA

1. Grewal Bach GK, Torrealbab Y, Lagravère MO. Orthodontic bonding to porcelain A systematic review. *Angle Orthodontist*. 2014;84(3):555–60.
2. Toodehzaeim MH, Haerian A, Safari I, Arjmandi R. The effect of assure plus resin on the shear bond strength of metal brackets bonded to enamel and surface of porcelain and amalgam restorations. *Medical Communication Bioscience Biotechnology Research Communications*. 2017;10(2):82–87.
3. Naseh R, Afshari M, Shafiei F, Rahnamoon N. Shear bond strength of metal brackets to ceramic surfaces using a universal bonding resin. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. 2018;10(8):e739–45.
4. Falkensammer F, Freudenthaler J, Pseiner B, Bantleon HP. Influence of surface conditioning on ceramic microstructure and bracket adhesion. *European Journal of Orthodontics*. 2012;34(4):498–504.
5. Gange P. The evolution of bonding in orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2015;147(4):S56–63.
6. Miura F, Nakagawa K, Masuhara E. New direct bonding system for plastic brackets. *American Journal of Orthodontics*. 1971;59(4):350–61.
7. Retief DH, Dreyer CJ, Gavron G. The direct bonding of orthodontic attachments to teeth by means of an epoxy resin adhesive. *American Journal of Orthodontics*. 1970;58(1):21–40.
8. Nunes, JPR. 2019. Adesivos ortodônticos – adesão à cerâmica Revisão sistemática da literatura (Dissertação de Mestrado). Universidade de Lisboa, Portugal.
9. Oldham CC, Ballard RW, Yu Q, Kee EL, Xu X, Armbruster PC. In vitro comparison of shear bond strengths of ceramic orthodontic brackets with ceramic

- crowns using an aluminium oxide air abrasion etchant. *International Orthodontics*. 2020;18(1):115–20.
10. Reis, SSM. 2018. Força de adesão de brackets ortodônticos em dentes decíduos utilizando diferentes tipos de adesivos (Dissertação de Mestrado). Instituto Universitário Egas Moniz, Portugal.
 11. Guzman UA, Jerrold L, Vig PS, Abdelkarim A. Comparison of shear bond strength and adhesive remnant index between precoated and conventionally bonded orthodontic brackets. *Progress in Orthodontics*. 2013;14(1):1–5.
 12. Norma ISO/TS 11405:2015. (s.d.).
 13. Endo T, Yoshino S, Shinkai K, Ozoe R, Shimada M, Katoh Y, Shimooka S. Shear bond strength differences of types of maxillary deciduous and permanent teeth used as anchor teeth. *The Angle Orthodontist*. 2007;77(3):4–8.
 14. Artun J, Bergland S. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment. *American Journal of Orthodontics*. 1984;85(4):333-40.
 15. Bishara SE, Fonseca JM, Boyer DB. The use of debonding pliers in the removal of ceramic brackets: Force levels and enamel cracks. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1995;108(3):242–48.
 16. Cal-Neto JP, Miguel, JAM. Uma análise dos testes in vitro de força de adesão em ortodontia. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*. 2004;9(4):44-51.
 17. Montasser MA, Drummond JL. Reliability of the adhesive remnant index score system with different magnifications. *The Angle Orthodontist*. 2009;79(4):773-76.
 18. Bona A, Borba M, Benetti P, Pecho OE, Alessandretti R, Mosele JC, Mores RT. Adhesion to dental ceramics. *Current Oral Health Reports*. 2014;1(4):232–38.

19. Guida LA, Benetti P, Corazza PH, Bona A. The critical bond strength of orthodontic brackets bonded to dental glass–ceramics. *Clinical Oral Investigations*. 2019;23(12):4345–53.
20. Juntavee P, Kumchai H, Juntavee N, Nathanson D. Effect of ceramic surface treatment and adhesive systems on bond strength of metallic brackets. *International Journal of Dentistry*. 2020;2020(3):1-8.
21. Golshah A, Mohamadi N, Rahimi F, Pouyanfar H, Tabaii ES, Imani MM. Shear bond strength of metal brackets to porcelain using a universal adhesive. *Medical Archives*. 2018;72(6):425–29.
22. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. 2012. *Phillips Materiais Dentários*. Florida, EUA.
23. Straface A, Rupp L, Gintaute A, Fischer J, Zitzmann NU, Rohr N. HF etching of CAD/CAM materials: Influence of HF concentration and etching time on shear bond strength. *Head and Face Medicine*. 2019;15(1):1–10.
24. Mokhtarpour F, Alaghehmand H, Khafri S. Effect of hydrofluoric acid surface treatments on micro-shear bond strength of CAD/CAM ceramics. *Electronic Physician*. 2017;9(10):5487–93.
25. Sriamporn T, Thamrongananskul N, Busabok C, Poolthong S, Uo M, Tagami J. Dental zirconia can be etched by hydrofluoric acid. *Dental Materials Journal*. 2014;33(1):79–85.
26. Mehmeti B, Kelmendi J, Iiljazi-Shahiqi D, Azizi B, Jakovljevic S, Haliti F, Anić-Milošević S. Comparison of shear bond strength orthodontic brackets bonded to zirconia and lithium disilicate crowns. *Acta Stomatologica Croatica*. 2019;53(1):17–27.
27. Cevik P, Eraslan O, Eser K, Tekeli S. Shear bond strength of ceramic brackets

- bonded to surface-treated feldspathic porcelain after thermocycling. *International Journal of Artificial Organs*. 2018;41(3):160-67.
28. Karan S, Büyükyılmaz T, Toroğlu MS. Orthodontic bonding to several ceramic surfaces: Are there acceptable alternatives to conventional methods? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2007;132(2):144.e7-e14.
 29. Zachrisson YO, Zachrisson BU, Büyükyılmaz T. Surface preparation for orthodontic bonding to porcelain. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1996;109(4):420–30.
 30. Saraç YŞ, Külünk T, Elekdağ-Türk S, Saraç D, Türk T. Effects of surface-conditioning methods on shear bond strength of brackets bonded to different all-ceramic materials. *European Journal of Orthodontics*. 2011;33(6):667–72.
 31. Türk T, Saraç D, Saraç YŞ, Elekdağ-Türk S. Effects of surface conditioning on bond strength of metal brackets to all-ceramic surfaces. *European Journal of Orthodontics*. 2006;28(5):450–56.
 32. Tahmasbi S, Shiri A, Badiee M. Shear bond strength of orthodontic brackets to porcelain surface using universal adhesive compared to conventional method. *Dental Research Journal*. 2020;17(1):19-24.
 33. Filho ODA, Araújo MAJ de, Bottino MA, Nishioka RS, Menezes MM. Study of thermocycling effect on the bond strength between an aluminous ceramic and a resin cement. *Journal of Applied Oral Science*. 2005;13(1):53–57.
 34. Guarda GB, Correr AB, Gonçalves LS, Costa AR, Borges GA, Sinhoreti MAC, Correr-Sobrinho L. Effects of surface treatments, thermocycling, and cyclic loading on the bond strength of a resin cement bonded to a lithium disilicate glass ceramic. *Operative Dentistry*. 2013;38(2):208–17.
 35. Aljanobi G, Al-Sowygh ZH. The effect of thermocycling on the translucency and color stability of modified glass ceramic and multilayer zirconia materials. *Cureus*.

- 2020;12(2):e6968.
36. Rossomando KJ, Wendt SL. Thermocycling and dwell times in microleakage evaluation for bonded restorations. *Dental Materials Journal*. 1995;11(1):47–51.
 37. Juntavee N, Juntavee A, Wongnara K, Klomklorm P, Khechonnan R. Shear bond strength of ceramic bracket bonded to different surface-treated ceramic materials. *Journal of Clinical Experimental Dentistry*. 2018;10(12):e1167–76.
 38. Finnema KJ, Özcan M, Post WJ, Ren Y, Dijkstra PU. In-vitro orthodontic bond strength testing: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2010;137(5):615-22.e3.
 39. Norma ISO/TS 29022:2013. (s.d.).
 40. Eliasson ST, Dahl JE. Effect of thermal cycling on temperature changes and bond strength in different test specimens. *Biomaterial Investigations in Dentistry*. 2020;7(1):16–24.
 41. Cezairli NS, Küçükekenci AS, Başoğlu H. Evaluation of shear bond strength between orthodontic brackets and three aged bulk fill composites. *Odvotos - International Journal of Dental Sciences*. 2019;3(21):119–29.
 42. Amer JY, Rayyan MM. Effect of different surface treatments and bonding modalities on the shear bond strength between metallic orthodontic brackets and glazed monolithic zirconia crowns. *Journal of Orthodontic Science*. 2018;7(1):23.
 43. Kocadereli I, Canay S, Akca K. Tensile bond strength of ceramic orthodontic brackets bonded to porcelain surfaces. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2001;119(6):617–20.
 44. Huang TH, Kao CT. The shear bond strength of composite brackets on porcelain teeth. *European Journal of Orthodontics*. 2001;23(4):433–39.

45. Gillis I, Redlich M. The effect of different porcelain conditioning techniques on shear bond strength of stainless steel brackets. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1998;114(4):387–92.
46. Borges GA, Sophr AM, Goes MF, Sobrinho LC, Chan DCN. Effect of etching and airborne particle abrasion on the microstructure of different dental ceramics. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2003;89(5):479–88.
47. Höland W, Schweiger M, Frank M, Rheinberger V. A comparison of the microstructure and properties of the IPS Empress®2 and the IPS Empress® glass-ceramics. *Journal of Biomedical Materials Research*. 2000;53(4):297–303.
48. Kato H, Matsumura H, Tanaka T, Atsuta M. Bond strength and durability of porcelain bonding systems. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 1996;75(2):163–68.
49. Stangel I, Nathanson D, Hsu CS. Shear strength of the composite bond to etched porcelain. *Journal of Dental Research*. 1987;66(9):1460–65.
50. Thurmond JW, Barkmeier WW, Wilwerding TM. Effect of porcelain surface treatments on bond strengths of composite resin bonded to porcelain. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 1994;72(4):355–59.
51. Yen TW, Blackman RB, Baez RJ. Effect of acid etching on the flexural strength of a feldspathic porcelain and a castable glass ceramic. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 1993;70(3):224–33.
52. Kato H, Matsumura H, Atsuta M. Effect of etching and sandblasting on bond strength to sintered porcelain of unfilled resin. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2000;27(2):103–10.
53. Sen D, Poyrazoglu E, Tuncelli B, Göller G. Shear bond strength of resin luting cement to glass-infiltrated porous aluminum oxide cores. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2000;83(2):210–15.

54. Meyer FS. 2017. Tratamento de superfície de cerâmicas à base de dissilicato de lítio (Dissertação de Mestrado). Universidade de Santa Cruz do Sul, Brasil.
55. González ACC, Mejía ED. Alternatives of surface treatments for adhesion of lithium disilicate ceramics. *Revista Cubana de Estomatologia*. 2018;55(1):59–72.
56. Özdemir H, Aladağ Lİ. Effect of different surface treatments on bond strength of different resin cements to lithium disilicate glass ceramic: an in vitro study. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*. 2017;31(4):815–20.
57. Yun JY, Ha SR, Lee JB, Kim SH. Effect of sandblasting and various metal primers on the shear bond strength of resin cement to Y-TZP ceramic. *Dental Materials Journal*. 2010;26(7):650–58.
58. Özcan M, Nijhuis H, Valandro LF. Effect of various surface conditioning methods on the adhesion of dual-cure resin cement with MDP functional monomer to zirconia after thermal aging. *Dental Materials Journal*. 2008;27(1):99–104.
59. Jevnikar P, Krnel K, Kocjan A, Funduk N, Kosmač T. The effect of nano-structured alumina coating on resin-bond strength to zirconia ceramics. *Dental Materials Journal*. 2010;26(7):688–96.
60. Thompson JY, Stoner BR, Piascik JR, Smith R. Adhesion/cementation to zirconia and other non-silicate ceramics: Where are we now? *Dental Materials Journal*. 2011;27(1):71–82.
61. Phark JH, Duarte S, Blatz M, Sadan A. An in vitro evaluation of the long-term resin bond to a new densely sintered high-purity zirconium-oxide ceramic surface. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2009;101(1):29–38.
62. Kitayama S, Nikaido T, Takahashi R, Zhu L, Ikeda M, Foxton RM, Sadr A, Tagami J. Effect of primer treatment on bonding of resin cements to zirconia ceramic. *Dental Materials Journal*. 2010;26(5):426–32.

63. Atsu SS, Kilicarslan MA, Kucukesmen HC, Aka PS. Effect of zirconium-oxide ceramic surface treatments on the bond strength to adhesive resin. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2006;95(6):430–36.
64. Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Selective infiltration-etching technique for a strong and durable bond of resin cements to zirconia-based materials. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2007;98(5):379–88.
65. Aboushelib MN, Matinlinna JP, Salameh Z, Ounsi H. Innovations in bonding to zirconia-based materials: Part I. *Dental Materials Journal*. 2008;24(9):1268–72.
66. Russo DS, Cinelli F, Sarti C, Giachetti L. Adhesion to zirconia: A systematic review of current conditioning methods and bonding materials. *Dentistry Journal*. 2019;7(3):74.
67. Yang L, Chen B, Xie H, Chen Y, Chen Y, Chen C. Durability of resin bonding to zirconia using products containing 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate. *Journal of Adhesive Dentistry*. 2018;20(4):279–87.
68. Tsujimoto A, Barkmeier WW, Takamizawa T, Wilwerding TM, Latta MA, Miyazaki M. Interfacial characteristics and bond durability of universal adhesive to various substrates. *Operative Dentistry*. 2017;42(2):e59–70.
69. Zhao L, Jian YT, Wang XD, Zhao K. Bond strength of primer/cement systems to zirconia subjected to artificial aging. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2016;116(5):790–96.
70. Seto KB, McLaren EA, Caputo AA, White SN. Fatigue behavior of the resinous cement to zirconia bond. *Journal of Prosthodontics*. 2013;22(7):523–28.
71. Xie H, Chen C, Dai W, Chen G, Zhang F. In vitro short-term bonding performance of zirconia treated with hot acid etching and primer conditioning. *Dental Materials Journal*. 2013;32(6):928–38.

72. Ribeiro BRG, Caldas MRGR, Almeida AA, Fonseca RG, Adabo GL. Effect of surface treatments on repair with composite resin of a partially monoclinic phase transformed yttrium-stabilized tetragonal zirconia. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018;119(2):286–91.
73. Mehmeti B, Haliti F, Azizi B, Kelmendi J, Iljazi-Shahiqi D, Jakovljevic S, Anić-Milosević S. Influence of different orthodontic brackets and chemical preparations of ceramic crowns on shear bond strength. *Australasian Medical Journal*. 2018;11(2):107-12.
74. Mehta AS, Evans CA, Viana G, Bedran-Russo A, Galang-Boquiren MTS. Bonding of metal orthodontic attachments to sandblasted porcelain and zirconia surfaces. *BioMed Research International*. 2016;2016:5762785.