



EGAS MONIZ SCHOOL
of HEALTH & SCIENCE

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO
EGAS MONIZ

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

**EFEITOS DE DIFERENTES AGENTES DE CIMENTAÇÃO
EM COROAS DE ZIRCÓNIA**

Trabalho submetido por

Marcelo Hunka Sena da Câmara Gegauf

para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por

Prof. Doutor Pedro Moura

Junho de 2025



INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

EFEITOS DE DIFERENTES AGENTES DE CIMENTAÇÃO EM COROAS DE ZIRCÓNIA

Trabalho submetido por

Marcelo Hunka Sena da Câmara Gegauf

para a obtenção do grau de **Mestre** em Medicina Dentária

Trabalho orientado por

Prof. Doutor Pedro Moura

Junho de 2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Moura, por sua orientação inestimável ao longo deste processo. Sua sabedoria, paciência e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. Obrigado, Professor, por compartilhar seu conhecimento e por sempre me incentivar a ir além.

Agradeço à minha esposa, Valerie, por ser minha fonte constante de força, compreensão e apoio. Sua paciência, amor e confiança em mim foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Você esteve ao meu lado nos momentos mais desafiadores, e eu sou eternamente grato por sua presença e por me inspirar todos os dias a ser uma versão melhor de mim mesmo. Te amo.

Aos meus pais, Eduardo e Ana Roberta, não tenho palavras suficientes para expressar minha gratidão. Agradeço por sempre acreditarem em mim e me apoiarem incondicionalmente em todos os meus projetos e sonhos. O amor de vocês foi o alicerce que me permitiu seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis. Obrigado por tudo o que fizeram e fazem por mim. Sem vocês, nada disso seria possível.

A Deus, meu profundo agradecimento por guiar meus passos e por sempre me dar forças para superar desafios. Agradeço por sua proteção e por me proporcionar sabedoria para alcançar este marco em minha vida.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho, meu muito obrigado. Que cada um de vocês continue sendo uma inspiração em minha jornada.

RESUMO

As coroas de zircônia destacam-se na medicina dentária moderna devido à sua combinação de estética refinada e elevada resistência mecânica. No entanto, a adesão eficaz e duradoura continua a ser um desafio clínico, exigindo protocolos específicos. Estudos recentes demonstram que os cimentos resinosos contendo monômeros MDP têm revolucionado a adesão química à zircônia, aumentando significativamente a estabilidade das restaurações. Paralelamente, tratamentos de superfície como o jateamento com óxido de alumínio e a silicatização têm mostrado eficácia na melhoria da rugosidade superficial, promovendo uma maior resistência de união.

A adaptação marginal das coroas também é identificada como um fator determinante para a durabilidade do tratamento, sendo fortemente influenciada pelo tipo de cimento utilizado. Neste sentido, será realizada uma revisão narrativa da literatura, abrangendo artigos publicados nos últimos cinco anos (alargando-se a dez anos caso haja escassez de publicações recentes). Artigos-chave fora deste intervalo temporal também serão incluídos para garantir uma análise completa e fundamentada. Este estudo procura reforçar a importância de estratégias baseadas em ciência para otimizar a longevidade e o sucesso clínico das restaurações de zircônia, alinhadas às exigências da prática odontológica contemporânea.

Palavras-chave: Cimentação; Coroas de zircônia; Tratamentos de superfície; Adesão protética.

*Efeitos de Diferentes Agentes de
Cimentação em Coroas de Zircónia*

ABSTRACT

Zirconia crowns stand out in modern dentistry due to their combination of refined aesthetics and high mechanical strength. However, achieving effective and durable adhesion remains a clinical challenge, requiring specific protocols. Recent studies demonstrate that resin cements containing MDP monomers have revolutionized chemical bonding to zirconia, significantly enhancing restoration stability (Erdem et al., 2014). Additionally, surface treatments such as alumina sandblasting and silicatization have proven effective in improving surface roughness, thereby promoting greater bond strength (Sciasci et al., 2015; Thompson et al., 2011).

Marginal adaptation of crowns is also identified as a key factor for treatment longevity, strongly influenced by the type of cement used (Sciasci et al., 2015; Stähli et al., 2015). In this context, a narrative review of the literature will be conducted, covering articles published in the last five years (extended to ten years if recent publications are scarce). Key articles outside this timeframe will also be included to ensure a comprehensive and well-founded analysis (Thompson et al., 2011). This study aims to highlight the importance of science-based strategies to optimize the longevity and clinical success of zirconia restorations, aligned with the demands of contemporary dental practice.

Keywords: Cementation; Zirconia crowns; Surface treatments; Prosthetic adhesion.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	1
ABSTRACT	3
ÍNDICE GERAL	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
I. INTRODUÇÃO	11
1. Contexto Relevância e Clínica	11
II. METODOLOGIA	13
2.1. Tipo de Estudo.....	13
2.2. Critérios de Inclusão e Exclusão	13
2.3. Estratégias de Pesquisa e Fontes de Dados	13
III. OBJECTIVOS	15
IV. REVISÃO DE LITERATURA	17
4.1.1 Material e Propriedades da Zircónia	17
4.1.2 Fundamentos e Microestrutura da Zircónia.....	17
4.1.3 Evolução das Gerações de Zircónia	17
4.1.4 Comparação com Outras Cerâmicas Utilizadas na Medicina Dentária	19
4.1.5 Propriedades Físico-Químicas da Zircónia	20
4.1.6 Implicações Clínicas da Seleção do Material.....	21
4.2 Processos de Cimentação em Zircónia.....	21
4.3 – Tratamentos de Superfície da Zircónia	24
4.4 Cimentos Resinosos e Adesão à Zircónia	28
4.5 – Influência dos Cimentos na Adaptação Marginal	32
4.6 – Durabilidade e Longevidade das coroas de Zircónia.....	36
V. DISCUSSÃO	41
5.1 Comparação entre os diferentes cimentos	41
5.2 Impacto dos tratamentos de superfície na adesão entre cimento resinoso e zircónia	43
5.2.1 Jateamento com óxido de alumínio (Al ₂ O ₃).....	43
5.2.2 Jateamento seguido de cimentação com 10-MDP	44
5.2.3 Condicionamento exclusivo com ácido fluorídrico.....	44
5.2.4 Glaze rico em sílica + HF + silano	44
Síntese comparativa	44
5.3 Implicações Clínicas	45

Síntese clínica prática	46
5.4 Recomendações para Investigações Futuras.....	47
VI. CONCLUSÕES	49
6.1 Síntese dos principais resultados	49
6.2 Relevância clínica e científica.....	50
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Comparação do Grau de Conversão entre Cimentos Resinosos	42
---	----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Comparação dos principais tipos de cerâmicas utilizadas na medicina dentária.	20
Tabela 2 Comparação dos cimentos resinosos em termos de presença de 10-MDP e respetivos valores médios de resistência adesiva (MPa).	30
Tabela 3 Comparação entre cimentos convencionais e resinosos quanto à adaptação marginal	33
Tabela 4 Principais fatores mecânicos, químicos e de envelhecimento que condicionam a resistência a longo prazo das coroas de zircónia, indicando o seu impacto sobre a interface adesiva e apontando estudos de referência que suportam cada efeito.	38
Tabela 5 Percentagens de sobrevida clínica das coroas de zircónia em três estudos de acompanhamento de longo prazo, evidenciando a elevada taxa de êxito destas restaurações quando cimentadas com protocolos adesivos otimizados.....	39
Tabela 6 Grau de Conversão(DC) no contexto dos cimentos avaliados por Lopes et al. (2015).....	43
Tabela 7 Desempenho adesivo dos principais protocolos de condicionamento da zircónia	45

I. INTRODUÇÃO

1. Contexto Relevância e Clínica

A crescente procura por tratamentos dentários estéticos tem estimulado o avanço e a implementação de materiais cerâmicos de última geração, sendo a zircónia uma das alternativas mais promissoras na reabilitação oral. Em particular, a zircónia na sua forma tetragonal policristalina estabilizada por ítria (Y-TZP) sobressai pela elevada resistência à fratura, estabilidade química e elevada biocompatibilidade – atributos essenciais para a durabilidade das restaurações (AlMutairi et al., 2022; Hergeröder, Wille, & Kern, 2022). Este material tem sido amplamente utilizados na produção de coroas, pontes e próteses fixas, permitindo a realização de restaurações desprovidas de metal, o que evita problemas estéticos, como margens acinzentadas, e minimiza o risco de reações alérgicas a ligas metálicas (Mudado, 2012; Melo et al., 2020).

Não obstante as suas vantagens, a aplicação da zircónia enfrenta desafios significativos, sobretudo no que concerne à adesão do material aos cimentos resinosos. Ao contrário das cerâmicas à base de sílica, como o dissilicato de lítio, cuja estrutura possibilita a utilização de técnicas tradicionais de condicionamento com ácido fluorídrico – resultando na formação de microfissuras que aumentam a retentividade – a estrutura policristalina da zircónia impede a eficácia desta abordagem (Gomes, 2022; Erdem et al., 2014). Esta limitação deve-se à ausência de fase vítrea na zircónia, o que reduz a sua reatividade química e dificulta a obtenção de uma ligação micromecânica robusta (D’Alessandro et al., 2024).

Para ultrapassar esta dificuldade, têm sido desenvolvidos métodos alternativos de tratamento de superfície, destinados a potenciar tanto a retenção micromecânica como a adesão química. Entre estes métodos, destaca-se o jateamento com partículas de óxido de alumínio, largamente utilizado para aumentar a rugosidade da superfície, criando microretenções com os cimentos resinosos (Erdem et al., 2014; Falahchai et al., 2024). Além disso, a aplicação de primers contendo monómeros fosfatados, nomeadamente o 10-MDP (10-metacrilóiloxidecil dihidrogenofosfato), tem demonstrado resultados promissores ao estabelecer ligações químicas diretas com o dióxido de zircónio, potencializando, assim, a força adesiva (Gomes, 2022; Batista, Palacios, & Ricardo, 2024) (Falahchai et al., 2024).

Embora estas estratégias contribuam para a melhoria da eficácia da cimentação, é imperativo que o tratamento de superfície seja realizado de forma criteriosa. Um

jateamento demasiado agressivo pode introduzir micro fracturas e tensões residuais na estrutura da zircónia, comprometendo a sua integridade mecânica e a durabilidade a longo prazo da restauração (Falahchai et al., 2024). Da mesma forma, a estabilidade da interface adesiva pode ser prejudicada pela degradação hidrolítica, que, com o decurso do tempo, pode enfraquecer a ligação entre o cimento e a superfície tratada (Gomes, 2022).

A escolha do cimento resinoso apropriado é outro fator determinante para o sucesso das restaurações em zircónia. Investigações indicam que os cimentos que contêm 10-MDP apresentam um desempenho superior em termos de adesão, comparativamente com as formulações convencionais, uma vez que promovem uma ligação química mais estável com a zircónia (Batista, Palacios, & Ricardo, 2024). Assim, a combinação de estratégias que envolvem tanto a aplicação de primers fosfatados como os tratamentos mecânicos de superfície revela-se como a abordagem mais eficaz para assegurar uma cimentação duradoura e clinicamente satisfatória (Al-Amari et al., 2024; ISO 6872, 2015).

Apesar dos progressos alcançados, persiste a ausência de um consenso absoluto relativamente ao protocolo ideal para a cimentação de coroas de zircónia. A variabilidade dos métodos de tratamento de superfície e a diversidade dos cimentos resinosos disponíveis no mercado sublinham a necessidade de investigações adicionais que permitam avaliar os efeitos a longo prazo destas técnicas. Pesquisas futuras deverão abordar, de forma sistemática, a estabilidade da interface adesiva e os impactos dos diferentes métodos de tratamento na integridade estrutural das restaurações, contribuindo assim para o aperfeiçoamento contínuo das práticas clínicas na medicina dentária restauradora (BrightDent, 2024; Christensen, 2024). Em síntese, a integração de abordagens mecânicas e químicas no tratamento de superfície da zircónia, aliada à seleção criteriosa do agente de cimentação, revela-se fundamental para otimizar a adesão e a durabilidade das coroas de zircónia, garantindo resultados estéticos e funcionais que respondam às exigências da prática clínica contemporânea.

II. METODOLOGIA

2.1. Tipo de Estudo

A presente investigação constitui uma revisão narrativa da literatura, tendo como finalidade integrar e analisar criticamente os dados existentes relativos aos efeitos de diversos agentes de cimentação aplicados em coroas de zircónia. A selecção desta metodologia justifica-se pela vastidão e complexidade do tema, bem como pela heterogeneidade dos desenhos experimentais disponíveis, os quais impedem a realização de uma revisão sistemática ou de uma meta-análise com validade estatística. A revisão narrativa permite uma abordagem compreensiva da evolução dos materiais e técnicas envolvidas, possibilitando a análise aprofundada dos mecanismos de adesão e cimentação associados à zircónia, bem como das suas implicações clínicas.

2.2. Critérios de Inclusão e Exclusão

Foram incluídos nesta revisão os estudos que abordavam aspectos como a adesão entre cimentos resinosos e zircónia, os tratamentos de superfície (designadamente, jateamento com óxido de alumínio, silicatização e aplicação de primers contendo o monómero 10- MDP), a adaptação marginal e a resistência adesiva. Privilegiaram-se publicações editadas nos últimos dez anos, admitindo-se, todavia, uma extensão até dezessete anos, por forma a garantir uma cobertura abrangente e representativa da temática. Foram considerados admissíveis ensaios clínicos randomizados e estudos laboratoriais *in vitro*, com especial enfoque em cerâmicas do tipo Y-TZP.

2.3. Estratégias de Pesquisa e Fontes de Dados

A pesquisa bibliográfica foi conduzida através das bases de dados PubMed, Scopus, Web of Science, LILACS, BIREME e SciELO. Para a construção das estratégias de pesquisa, utilizaram-se os seguintes termos: “zirconia”, “cementation”, “surface treatment”, “10-MDP”, “adhesive resin cements”, “sandblasting” e “tribochemical silica coating”. Estes termos foram combinados por meio de operadores booleanos, tendo sido adoptadas expressões como:

- (“zircónia crowns” AND “resin cement”)
- (“surface treatment” OR “sandblasting” OR “silicatization”)
- (“10-MDP” AND “adhesion”)
- (“zircónia” AND “laser” AND “cementation”)

Foram considerados apenas artigos redigidos em português, inglês e alemão, publicados entre 2007 e 2024. O processo de selecção inicial envolveu a leitura dos títulos e resumos, seguindo-se a leitura integral dos textos seleccionados, a fim de confirmar o seu enquadramento nos critérios de elegibilidade definidos

III. OBJECTIVOS

A presente investigação propõe-se identificar e comparar, o impacto de distintos agentes de cimentação — englobando estratégias químicas, físicas e mecânicas — na adesão e na longevidade de coroas em zircónia. Operacionalmente, pretende-se apurar quais os protocolos que garantem a união mais eficiente entre a coroa e o dente preparado, potenciando, assim, a durabilidade e a estabilidade das restaurações. Estes protocolos agrupam-se em três categorias principais: (i) mecânico, baseado exclusivamente na micro-abrasão da superfície cerâmica, por jateamento ou silicatização, para gerar microrretenções; (ii) químico, assente unicamente na aplicação de primers ou de cimentos que incorporam monómeros funcionais — em particular o 10-MDP — capazes de estabelecer ligações directas ao óxido de zircónio; e (iii) mecânico-químico (híbrido), que combina uma abrasão controlada da superfície com a posterior aplicação de um sistema adesivo rico em 10-MDP, conjugando a rugosidade obtida mecanicamente com a criação de ligações químicas estáveis.

Para concretizar este objectivo geral, formulam-se os seguintes objectivos específicos:

- **Avaliar** a eficácia dos cimentos resinosos que contêm 10-MDP na promoção de ligações químicas robustas e duradouras com a zircónia.
- **Comparar** o efeito de diferentes tratamentos de superfície — designadamente o jateamento com óxido de alumínio e a silicatização — na modificação da topografia cerâmica e na formação de microrretenções essenciais à adesão mecânica.
- **Investigar** a repercussão dos protocolos de cimentação adesiva na adaptação marginal e na resistência à flexão das coroas de zircónia, relacionando evidência laboratorial com as exigências clínicas de restaurações de longa duração.
- **Estabelecer** directrizes integradas que articulem os benefícios dos mecanismos de união química, física e mecânica, com vista à definição de um protocolo de cimentação optimizado para a ligação entre coroas de zircónia e o substrato dentário.

Ao considerar simultaneamente as propriedades dos cimentos resinosos e os efeitos dos tratamentos de superfície, esta abordagem integrada pretende disponibilizar bases teóricas e orientações práticas para a actividade clínica, além de incentivar novas linhas de investigação no campo da Medicina Dentária.

IV. REVISÃO DE LITERATURA

4.1.1 Material e Propriedades da Zircónia

A zircónia, ou óxido de zircónio, tem vindo a afirmar-se como um dos materiais cerâmicos de referência na odontologia contemporânea, especialmente na confecção de restaurações indiretas. As suas excepcionais propriedades físico-químicas – nomeadamente a elevada resistência à fratura, a alta tenacidade, a robustez ao desgaste e a estabilidade química – associadas a uma notável biocompatibilidade, tornam-na a opção preferencial para intervenções que exijam durabilidade e desempenho estético. Nesta secção, abordam-se de forma detalhada os fundamentos, a evolução das gerações e a comparação com outros sistemas cerâmicos utilizados na prática clínica.

4.1.2 Fundamentos e Microestrutura da Zircónia

Habitualmente, a zircónia utilizada na odontologia é estabilizada com ítrio, permitindo a obtenção da chamada zircónia tetragonal policristalina estabilizada por ítrio (Y-TZP). Este material apresenta um mecanismo de tenacificação por transformação, elemento crucial para a sua elevada resistência mecânica. Sob condições de tensão – por exemplo, as geradas pela carga oclusal – a fase tetragonal converte-se na fase monoclinica, resultando num aumento local do volume (da ordem dos 3 a 5%) e na formação de tensões compressivas que atrasam a propagação de estaladelas (Melo et al., 2020; Silveira et al., 2022). Assim, a resistência à flexão da zircónia pode variar entre 900 e 1.200 MPa, consoante o método de sinterização e o processamento utilizado (Raigrodski, 2020). Para além da elevada resistência mecânica, a zircónia destaca-se por possuir baixa condutividade térmica e um coeficiente de expansão térmica semelhante ao dos dentes, o que é essencial para garantir a estabilidade dimensional das restaurações ao longo do tempo. Estas propriedades físico-químicas tornam-na particularmente indicada para suportar as forças masticatórias, mantendo simultaneamente as qualidades estéticas da prótese (Melo et al., 2020).

4.1.3 Evolução das Gerações de Zircónia

Ao longo das últimas décadas, a introdução de novas tecnologias de sinterização e a modificação da composição química possibilitaram o desenvolvimento de diversas gerações de zircónia, com o objetivo de otimizar o equilíbrio entre resistência mecânica e estética. Entre as principais classificações, destacam-se:

- **3Y-TZP Convencional:** Trata-se da forma tradicional de zircónia estabilizada com

aproximadamente 3 mol% de ítrio. Este material distingue-se por uma resistência flexural elevada (entre 900 e 1.200 MPa) e excelente robustez, mas apresenta baixa translucidez, o que restringe a sua utilização em zonas de elevada exigência estética. Assim, o 3Y-TZP convencional é geralmente indicado para áreas posteriores, onde a resistência é imprescindível (Melo et al., 2020).

- **3Y-TZP de Terceira Geração (Alta Translúcida):** Com ajustes na formulação e na técnica de sinterização, a terceira geração de 3Y-TZP foi concebida para proporcionar níveis superiores de translucidez, mantendo, contudo, a elevada resistência da versão convencional. Esta variante oferece um equilíbrio entre resistência e estética, permitindo a sua utilização também em zonas com visibilidade moderada (Silveira et al., 2022).
- **4Y-PSZ (Super Translúcida):** Ao aumentar o teor de ítrio para cerca de 4 mol%, promove-se uma maior proporção de fase cúbica, que confere ao material uma translucidez melhorada. Apesar de a resistência mecânica ser ligeiramente inferior – aproximadamente 800 MPa, o 4Y-PSZ apresenta uma combinação atrativa entre estética e desempenho mecânico, sendo indicado para restaurações que necessitam de um equilíbrio entre aparência e resistência (Hergeröder, Wille, & Kern, 2022).
- **5Y-PSZ (Extra Translúcida):** Com um teor de ítrio ainda mais elevado, da ordem dos 5 mol%, o 5Y-PSZ revela níveis muito elevados de translucidez, tornando-o ideal para restaurações anteriores onde a estética é preponderante. Todavia, esta melhoria estética acarreta uma redução considerável da resistência flexural, com valores situando-se entre 500 e 700 MPa, o que o torna mais adequado para áreas sujeitas a cargas mecânicas mais reduzidas (Silveira et al., 2022).
- **Zircônia Multicamada:** Uma abordagem inovadora consiste na utilização de blocos multicamada de zircônia, compostos por camadas que apresentam propriedades ópticas e mecânicas diferenciadas. As camadas exteriores são caracterizadas por uma elevada translucidez, permitindo imitar a aparência natural dos dentes, enquanto as camadas interiores, com maior opacidade, garantem a resistência necessária para suportar as forças mastigatórias. Esta estratégia possibilita a obtenção de restaurações que combinam uma estética aprimorada com um desempenho estrutural robusto, ampliando as opções clínicas (Hoffmann, Mayinger, & Stawarczyk, 2024).

4.1.4 Comparação com Outras Cerâmicas Utilizadas na Medicina Dentária

Embora a zircônia seja frequentemente a opção preferencial para aplicações que requerem elevada resistência, existem outros sistemas cerâmicos que desempenham um papel relevante, sobretudo quando a estética assume uma importância determinante. Entre estes, destacam-se:

- **Cerâmicas à Base de Dissilicato de Lítio:** Estas cerâmicas são reconhecidas pela sua elevada translucidez e pela capacidade de reproduzir de forma fidedigna as características estéticas do dente natural. O dissilicato de lítio é habitualmente utilizado para restaurações monolíticas em zonas anteriores, onde a estética é crucial. Contudo, a sua resistência mecânica é inferior à da zircônia, variando entre 350 e 600 MPa, o que limita a sua aplicação em áreas sujeitas a forças masticatórias intensas (Batista, Palacios, & Ricardo, 2024).
- **Cerâmicas de Leucita:** Utilizadas primordialmente como material de revestimento ou para acabamento, as cerâmicas de leucita oferecem uma boa translucidez e uma elevada capacidade estética. No entanto, a sua resistência mecânica, geralmente situada entre 200 e 400 MPa, é limitada, pelo que são frequentemente aplicadas como camadas complementares a estruturas mais resistentes, como a zircônia (Hoffmann et al., 2024).
- **Cerâmicas Feldspáticas:** Tradicionalmente empregues em restaurações estéticas, as cerâmicas feldspáticas proporcionam uma aparência natural e elevada translucidez, embora a sua resistência mecânica seja bastante reduzida, oscilando entre 50 e 150 MPa. Consequentemente, estas cerâmicas destinam-se a áreas onde a carga mecânica é mínima, sendo utilizadas essencialmente como revestimentos (Comino-Garayoa, Peláez, Tobar, Rodríguez, & Suárez, 2021).

A Tabela 1 abaixo resume as principais características dos diferentes tipos de cerâmicas utilizados na odontologia, com base nos dados recolhidos dos estudos mais recentes.

Tabela 1 Comparação dos principais tipos de cerâmicas utilizadas na medicina dentária.

Tipo de Cerâmica	Resistência à Flexão (MPa)	Translucidez	Vantagens	Desvantagens
3Y-TZP Convencional	900–1.200	Baixa	Elevada resistência e tenacidade; alta durabilidade	Estética inferior em áreas anteriores
3Y-TZP (3ª Geração – Alta Translúcida)	~900–1.100	Moderada a Alta	Equilíbrio entre resistência e estética	Variação na translucidez dependendo do processamento
4Y-PSZ (Super Translúcida)	~800	Média a Alta	Melhor estética com manutenção razoável da força	Resistência ligeiramente inferior à do 3Y-TZP convencional
5Y-PSZ (Extra Translúcida)	500–700	Muito Alta	Excelente estética para áreas anteriores	Menor resistência mecânica; indicada para áreas de baixa carga
Zircónia Multilcamada	Variável (depende da camada)	Gradiente (interno: opaco; externo: translúcido)	Combinação ajustável de estética e resistência	Processamento complexo; custo elevado
Dissilicato de Lítio	350–600	Muito Alta	Altíssima estética; excelente reprodução da cor natural	Resistência mecânica inferior; sensível a forças mastigatórias
Cerâmica Leucita	200–400	Alta	Excelente aparência; boa para acabamento estético	Resistência mecânica limitada; uso restrito a revestimentos
Cerâmica Feldspática	50–150	Extremamente Alta	Ótima estética; imita com fidelidade a estrutura dental	Baixa resistência mecânica; indicada apenas para áreas não funcionais

Nota: Adaptado de (Comino-Garayoa et al., 2021; Silveira et al., 2022; Hergeröder, Wille, & Kern, 2022; Batista, Palacios, & Ricardo, 2024; Hoffmann, Mayinger, & Stawarczyk, 2024).

4.1.5 Propriedades Físico-Químicas da Zircónia

As propriedades físico-químicas da zircónia constituem o alicerce do seu desempenho clínico. Entre as características mais relevantes, destacam-se:

- **Resistência Mecânica:** O mecanismo de transformação da fase tetragonal em monoclinica, que gera tensões compressivas locais, é determinante para a elevada resistência á flexão, essencial para suportar as forças mastigatórias.

- **Dureza e Resistência ao Desgaste:** A elevada dureza da zircónia confere-lhe uma robustez ao desgaste, mantendo o contorno da restauração e prevenindo a perda de material em contacto com os dentes antagonistas.

- **Estabilidade Química e Biocompatibilidade:** A inércia química do material garante que a zircónia não sofre corrosão ou reações adversas no ambiente oral, o que, aliado à sua alta biocompatibilidade, minimiza o risco de reações alérgicas ou inflamações nos tecidos moles.

- **Coefficiente de Expansão Térmica:** A similaridade do coeficiente de expansão térmica da zircónia com o dos dentes naturais é crucial para evitar tensões residuais e a formação de microfissuras, especialmente em condições de variação de temperatura intraoral.

- **Propriedades Ópticas:** As diferentes gerações de zircónia apresentam variações significativas em termos de translucidez. Enquanto o 3Y-TZP convencional caracteriza-se por uma baixa translucidez, as versões 4Y-PSZ e 5Y-PSZ, com maior proporção de fase cúbica, permitem uma melhor transmissão da luz, resultando numa aparência mais natural e esteticamente agradável.

4.1.6 Implicações Clínicas da Seleção do Material

A escolha do material cerâmico adequado é decisiva para o sucesso das restaurações. A seleção entre as diversas formulações de zircónia – bem como entre a zircónia e outros sistemas cerâmicos, tais como o dissilicato de lítio, a cerâmica de leucita ou a feldspática – deve ser orientada pelas exigências estéticas e funcionais do caso clínico. Em zonas sujeitas a elevadas forças masticatórias, o 3Y-TZP convencional ou a sua versão de terceira geração são preferíveis pela sua robustez, enquanto, em áreas anteriores onde a estética é fundamental, opta-se por materiais com maior translucidez, como o 5Y-PSZ ou blocos multicamada, que permitem a obtenção de um gradiente óptico semelhante ao do dente natural (Silveira et al., 2022; Hoffmann, Mayinger, & Stawarczyk, 2024).

4.2 Processos de Cimentação em Zircónia

A cimentação adesiva de coroas em zircónia representa um dos maiores desafios na medicina dentária restauradora, não só pela elevada qualidade estética e pelas propriedades mecânicas superiores deste material, como também pela dificuldade intrínseca de se alcançar uma adesão duradoura à sua superfície. A zircónia, pela sua natureza inerte e pela ausência de uma fase vítrea, não reage ao condicionamento ácido convencional – nomeadamente à aplicação de ácido fluorídrico – método que se revela

eficaz em cerâmicas com base de sílica. Por conseguinte, torna-se imprescindível recorrer a métodos alternativos que permitam modificar a topografia e a energia superficial do substrato, de modo a favorecer tanto a adesão micromecânica como a adesão química com os cimentos resinosos (Melo et al., 2020).

A obtenção de uma interface resistente e duradoura depende, primeiramente, da escolha apropriada do agente de cimentação. Nos últimos anos, os cimentos resinosos que incorporam monómeros funcionalizados – e, em particular, o 10-MDP – têm demonstrado resultados significativamente superiores. Este monómero, devido à sua estrutura polar e à sua capacidade para estabelecer ligações químicas diretas com o dióxido de zircónia, contribui para a formação de uma interface mais estável, apresentando maior resistência à degradação hidrolítica ao longo do tempo (Comino-Garayoa et al., 2021).

No que concerne aos métodos de pré-tratamento da superfície, os protocolos podem ser classificados em técnicas mecânicas, químicas ou numa combinação de ambas (mecânico-químicas). Uma das técnicas mecânicas mais recorrentes consiste no jateamento com partículas de óxido de alumínio, que aumenta de forma significativa a rugosidade da superfície, criando micro-rugosidades que ampliam a área de contacto para a adesão. Este procedimento, para além de intensificar a rugosidade, promove também a formação de grupos hidroxílicos na superfície, os quais podem interagir com os agentes condicionantes dos sistemas adesivos (Mudado, 2012). Em alternativa, a técnica de silicatização – que recorre à utilização de partículas revestidas por sílica – tem vindo a ganhar relevância, na medida em que permite a incorporação de uma camada de sílica à superfície do substrato. Essa camada viabiliza a utilização de um agente silanizante, o qual favorece a formação de ligações químicas entre o cimento resinoso e a zircónia, incrementando assim o nível de adesão (Gomes, 2022). Importa sublinhar que a eficácia dos métodos de pré-tratamento reside essencialmente na combinação entre a técnica mecânica empregue e a utilização de agentes condicionantes químicos. Diversos estudos *in vitro* demonstraram que o jateamento com partículas de óxido de alumínio, quando associado à aplicação de um sistema adesivo universal à base de 10-MDP, resulta numa adesão significativamente superior, face à utilização isolada de qualquer um destes métodos. Esta abordagem permite, por um lado, a criação de micro-rugosidades que intensificam a retenção micromecânica e, por outro, o estabelecimento de ligações químicas fortes e estáveis, que garantem uma união duradoura (Comino-Garayoa et al., 2021).

Adicionalmente, a utilização de cimentos auto-adesivos e de sistemas de adesão universal – que já incorporam agentes promotores – tem sido proposta como alternativa para simplificar o protocolo clínico. No entanto, os resultados obtidos com estes sistemas oscilam em função do método de pré-tratamento aplicado. A literatura evidencia que a combinação de jateamento ou silicatização com a aplicação subsequente de 10-MDP é a estratégia que apresenta os melhores resultados, sobretudo no que diz respeito à durabilidade da adesão, mesmo após a aplicação de envelhecimento artificial, tal como atermociclagem ou o armazenamento prolongado em meios húmidos (Melo et al., 2020). Outro aspeto de considerável importância é a influência dos métodos de envelhecimento artificial na estabilidade da adesão. Estudos que simulam as condições orais – recorrendo a termociclagem ou a armazenamento prolongado em meio húmido – demonstraram que, embora um protocolo de pré-tratamento eficaz produza elevados valores iniciais de adesão, a sua estabilidade a longo prazo pode ser comprometida se a interface não for devidamente protegida contra a degradação hidrolítica. Nesse sentido, os cimentos resinosos contendo 10-MDP têm evidenciado taxas de falha inferiores após a aplicação de envelhecimento artificial, conferindo uma maior durabilidade à união (Comino-Garayoa et al., 2021).

É, ainda, fundamental que o protocolo de cimentação inclua uma fase rigorosa de limpeza da superfície de zircónia, de modo a remover quaisquer contaminantes que possam interferir com o processo adesivo. A utilização de técnicas de limpeza ultrassónica, bem como a aplicação de solventes como etanol ou isopropanol, é frequentemente recomendada para garantir que a superfície esteja completamente desprovida de impurezas antes da execução do jateamento ou da aplicação de qualquer agente condicionante (Gomes, 2022).

Relativamente à seleção do cimento resinoso, a literatura demonstra uma ampla variabilidade na composição química destes produtos. Os cimentos que contêm 10-MDP destacam-se não só pela capacidade de promover uma ligação química direta com a zircónia, como também pela sua superior resistência à degradação em ambientes húmidos, em comparação com cimentos baseados em Bis-GMA ou com cimentos auto-adesivos. Contudo, a eficácia do 10-MDP pode variar consoante a sua concentração e a compatibilidade com o protocolo de pré-tratamento adotado; pelo que a escolha do cimento deve estar alicerçada em evidências científicas consistentes e na experiência clínica acumulada.

É igualmente relevante referir que a execução correcta de cada etapa – desde a

preparação e limpeza da superfície, passando pelo pré-tratamento mecânico ou mecânico-químico, até à aplicação e fotopolimerização do cimento – é determinante para se obter uma interface dente-cimento-zircónia de elevada durabilidade. Pequenas variações na técnica podem conduzir a diferenças significativas na qualidade da adesão, pelo que se torna imprescindível que os protocolos clínicos sejam rigorosamente seguidos.

Em síntese, a cimentação de coroas de zircónia exige uma abordagem multifactorial que combine eficazmente tratamentos de pré-tratamento mecânico – tais como o jateamento com partículas de óxido de alumínio ou a silicatização – com a utilização de agentes condicionantes químicos, em especial os sistemas à base de 10-MDP. Esta combinação revela-se crucial para alcançar uma união duradoura e resistente, apta a suportar as condições adversas do ambiente oral e os processos de envelhecimento artificial. Para além disso, a definição e implementação de um protocolo estandardizado – que inclua uma limpeza meticulosa, um pré-tratamento adequado e a correcta aplicação do agente adesivo e do cimento – são elementos essenciais para garantir o sucesso a longo prazo das restaurações sem metal.

A literatura atual recomenda que futuras investigações se concentrem na padronização dos protocolos de pré-tratamento e cimentação, bem como na avaliação da durabilidade da adesão através de estudos clínicos longitudinais. Este avanço permitirá otimizar os processos e fornecerá aos clínicos diretrizes mais claras para a prática diária, contribuindo para a melhoria dos resultados restauradores e para a redução dos índices de falha das coroas de zircónia.

4.3 – Tratamentos de Superfície da Zircónia

A preparação da superfície da zircónia reveste-se de uma importância fundamental para se conseguir uma adesão eficaz dos cimentos resinosos, sendo este processo particularmente complexo face à inércia química inerente ao material. A ausência de fase vítrea e de sílica na sua composição impõe restrições aos métodos tradicionais de condicionamento – nomeadamente o ataque ácido com ácido fluorídrico seguido de silanização –, que demonstram eficácia apenas para cerâmicas com base de sílica (Comino-Garayoa et al., 2021). Por conseguinte, têm sido desenvolvidos e refinados vários protocolos que combinam intervenções mecânicas e químicas, com o objetivo de alterar a topografia e a energia superficial da zircónia, aumentando assim a eficácia do sistema cimentador.

O jateamento com óxido de alumínio constitui, sem dúvida, o método mecânico mais utilizado para este propósito. Este procedimento consiste na projeção de partículas abrasivas sobre a superfície da zircónia, com o intuito de criar micro-retenções e, conseqüentemente, aumentar a área de contacto disponível para a adesão do cimento. A eficácia deste método, contudo, depende criticamente da otimização dos seus parâmetros operacionais: o diâmetro das partículas, a pressão aplicada, o ângulo de incidência e a duração do jateamento necessitam de uma calibração rigorosa para evitar danos estruturais ao substrato. Estudos indicam que a utilização de partículas com diâmetro de 50 μm , associada a pressões moderadas – situadas entre 0.2 e 0.4 MPa, por exemplo – promove um incremento significativo da rugosidade superficial sem induzir transformações de fase que possam comprometer a integridade mecânica da zircónia (Kwon et al., 2020). Estes parâmetros são essenciais para atingir um equilíbrio entre a criação de uma superfície suficientemente rugosa e a preservação das propriedades intrínsecas do material.

De forma paralela, a técnica de silicatização, também designada por revestimento triboquímico, tem vindo a ser aplicada, tanto como alternativa como complemento ao jateamento. Este método baseia-se na projeção de partículas de alumina revestidas de sílica sobre a superfície da zircónia, resultando na formação de uma camada interfacial enriquecida com sílica. A presença desta sílica é determinante, uma vez que permite a ação dos agentes silanizantes, os quais promovem a formação de ligações covalentes com os grupos funcionais da resina. Posteriormente, a aplicação de um silano facilita a constituição de uma rede siloxânica estável, contribuindo para o estabelecimento de uma adesão química robusta entre o substrato e o cimento resinoso (Della Bona et al., 2007). Assim, a silicatização não só melhora a retenção micromecânica, como também estabelece uma interação química capaz de superar as limitações impostas pela inércia da zircónia.

Adicionalmente, recorre-se à utilização de primers que contenham monómeros funcionais, sendo o 10-MDP um dos mais relevantes. Este monómero caracteriza-se por uma estrutura química que facilita a formação de ligações diretas com a superfície do dióxido de zircónia, aumentando, assim, a durabilidade da adesão. A aplicação de primers contendo 10-MDP, geralmente associada a tratamentos mecânicos, tem demonstrado um aumento expressivo na resistência de união, fruto da combinação dos mecanismos de adesão química e micromecânica (Gomes, 2022). Esta estratégia complementar maximiza a eficácia do condicionamento da superfície, promovendo uma interface que beneficia

simultaneamente de ambos os mecanismos.

Outras abordagens têm sido exploradas, como o método denominado “glaze-on”. Este procedimento consiste na aplicação de uma camada de vidro ou porcelana sobre a zircónia, seguida da aplicação de ácido hidrofluorídrico, como mordente, e subsequente silanização, com o objetivo de criar uma interface intermédia que, ao incorporar sílica, permita uma adesão mais eficiente do cimento resinoso. Apesar dos resultados promissores reportados em alguns estudos, os benefícios práticos desta técnica ainda suscitam debate, especialmente quando comparados com os protocolos que combinam jateamento optimizado e aplicação de primers. A complexidade e o tempo de processamento associados ao glaze-on podem limitar a sua aplicabilidade clínica, sobretudo se os ganhos obtidos em termos de adesão não se mostrarem significativamente superiores (Franza et al., 2021).

No contexto de uma abordagem integrada, a combinação do condicionamento mecânico com intervenções químicas revela-se a estratégia mais robusta para o tratamento da superfície da zircónia. Em termos práticos, o jateamento com óxido de alumínio ou com partículas de alumina revestidas de sílica serve para criar micro-retenções na superfície, enquanto a aplicação de um primer contendo 10-MDP estabelece uma ligação química directa com o substrato. A sinergia entre estes métodos resulta numa melhoria notável na adesão, evidenciada por valores elevados de resistência de união medidos através de ensaios *in vitro* (Comino-Garayoa et al., 2021; Oliveira Melo et al., 2020). Estes protocolos híbridos demonstram ser especialmente eficazes na criação de uma interface que beneficia dos dois mecanismos essenciais: a retenção micromecânica e a adesão química.

É, contudo, imperativo salientar que a aplicação de tratamentos mecânicos, como o jateamento, deve ser efetuada com extrema cautela. O processo de jateamento pode induzir transformações de fase na estrutura cristalina da zircónia, nomeadamente a conversão da fase tetragonal para a monoclinica. Este fenómeno, que pode contribuir para mecanismos de tenacificação através da expansão volumétrica, tem o potencial de gerar zonas de tensão que elevem a suscetibilidade à formação de microfissuras. O controlo destes efeitos adversos requer uma definição precisa dos parâmetros operacionais, de modo a maximizar os benefícios do jateamento sem comprometer a resistência global do material (Kwon et al., 2020).

Adicionalmente, a interação entre os métodos de tratamento da superfície e a escolha

do cimento resinoso constitui um fator determinante para o sucesso da cimentação. Cimentos que incorporam monómeros com função fosfatada, como o 10-MDP, tendem a apresentar melhores resultados em termos de adesão, especialmente quando aplicados sobre superfícies previamente tratadas com jateamento e/ou silicatização. Esta interação reforça a importância de desenvolver um protocolo de preparação de superfície que seja devidamente harmonizado com o sistema de cimentação escolhido, assegurando uma interface que seja, ao mesmo tempo, mecanicamente robusta e quimicamente estável (Gomes, 2022).

Segundo (Comino-Garayoa et al., 2021; Oliveira Melo et al., 2020) enfatiza-se que, para se alcançar os melhores resultados, é imprescindível que a preparação da superfície da zircônia seja realizada de forma integrada, combinando procedimentos mecânicos (como o jateamento com óxido de alumínio) e químicos (como a aplicação de primers contendo 10-MDP) que se complementem. Tal abordagem permite mitigar as limitações inerentes a cada método isolado e fornece uma base sólida para a obtenção de restaurações duradouras (Oliveira Melo et al., 2020).

Os protocolos híbridos, que associam jateamento otimizado (por exemplo, partículas de 50 µm a 0,2–0,4 MPa) com a aplicação de primers contendo 10-MDP, têm sido corroborados por vários estudos *in vitro*. Essas investigações demonstram que tal combinação promove um aumento significativo da resistência de união — refletindo-se numa maior estabilidade e durabilidade dos sistemas restauradores em zircônia (Gomes, 2022; Kwon et al., 2020; Franza et al., 2021; Della Bona et al., 2007).

No âmbito da investigação, tem sido dada especial atenção à caracterização da topografia superficial e à avaliação das transformações de fase induzidas pelos tratamentos mecânicos. Ferramentas analíticas como a microscopia eletrônica de varrimento (SEM) e a difração de raios-X (XRD) têm sido empregues para examinar as alterações na superfície da zircônia, permitindo uma melhor compreensão dos mecanismos de adesão e dos efeitos dos diversos parâmetros de tratamento. A integração destes dados com os resultados dos ensaios de resistência de união oferece uma visão abrangente dos impactos dos tratamentos de superfície, constituindo a base para o desenvolvimento de protocolos otimizados que possam ser aplicados na prática clínica quotidiana.

Por fim, a contínua investigação nesta área revela a importância de se definir protocolos standardizados para o condicionamento da superfície da zircônia. A adaptação dos métodos às necessidades específicas dos diferentes sistemas cimentadores

e a validação dos resultados através de estudos clínicos a longo prazo representam desafios que, embora complexos, apontam para uma tendência clara: a utilização de protocolos híbridos que combinem intervenções mecânicas e químicas parece ser a estratégia mais promissora para assegurar a adesão duradoura e a estabilidade das restaurações em cerâmica.

4.4 Cimentos Resinosos e Adesão à Zircónia

A união entre os cimentos resinosos e as infraestruturas de zircónia constitui um dos desafios mais significativos na área da medicina dentária restauradora. Embora a zircónia seja amplamente reconhecida pelas suas excepcionais propriedades mecânicas e estéticas, trata-se de um material intrinsecamente inerte, apresentando uma superfície desprovida de fase vítrea, o que inviabiliza a aplicação dos métodos convencionais de adesão química – nomeadamente, a silanização. Esta limitação tem impulsionado a investigação e o desenvolvimento de novos protocolos de cimentação, com o objectivo de otimizar a ligação entre o cimento resinoso e a zircónia, contribuindo assim para uma maior durabilidade e um desempenho clínico mais consistente das restaurações.

Historicamente, os cimentos resinosos têm sido classificados segundo a sua composição química e os mecanismos de polimerização, distinguindo-se, essencialmente, três categorias principais:

Cimentos à base de Bis-GMA: Dependem quase exclusivamente dos mecanismos de retenção micromecânica, uma vez que não contêm componentes químicos específicos para interagir com a superfície inerte da zircónia.

Cimentos modificados com 10-MDP: Estes sistemas incorporam o monómero 10-MDP na sua formulação, conferindo propriedades de adesão química através da formação de ligações covalentes com a zircónia.

Cimentos autoadesivos: Frequentemente formulados com monómeros funcionais – entre os quais o 10-MDP se destaca – e que apresentam concentrações variáveis destes componentes.

A utilização do 10-MDP tem emergido como uma das estratégias mais eficazes para ultrapassar as limitações inerentes à adesão à zircónia. Este monómero apresenta uma estrutura bifuncional, na qual a extremidade ácida reage com os grupos hidroxilados presentes na superfície oxidada do óxido de zircónia, originando ligações do tipo Zr–O–P, enquanto a outra extremidade, contendo um grupo vinil, copolimeriza com a matriz resinosa do cimento. Assim, estabelece-se uma interface híbrida que integra os

mecanismos de retenção química e micromecânica, proporcionando uma ligação robusta e duradoura. Estudos demonstram que os sistemas adesivos que incorporam o 10-MDP conseguem manter elevados valores de resistência adesiva, mesmo após a realização de procedimentos de envelhecimento artificial, tais como a termociclagem e o armazenamento prolongado em água, que simulam as condições ambientais presentes na cavidade oral (Thompson et al., 2011; Comino-Garayoa et al., 2021).

Em contraste, os cimentos resinosos à base de Bis-GMA, que se fundamentam primordialmente em mecanismos de retenção micromecânica, tendem a apresentar valores de adesão inferiores. A dependência exclusiva deste mecanismo torna-os mais suscetíveis à degradação hidrolítica, especialmente em contextos de carga cíclica e variações de temperatura. Sem a intervenção de um componente químico específico para promover a interação com a superfície inerte da zircónia, estes cimentos não conseguem estabelecer uma ligação tão eficaz quanto os sistemas que utilizam o 10-MDP (Melo et al., 2020).

Por sua vez, os cimentos autoadesivos, que já vêm formulados com monómeros funcionais – frequentemente incluindo o 10-MDP –, oferecem uma abordagem que combina a simplicidade do seu uso com a formação de ligações químicas. Embora os resultados possam variar consoante a concentração e a qualidade dos monómeros incorporados, estes sistemas têm demonstrado um desempenho intermédio, muitas vezes superior ao dos cimentos convencionais à base de Bis-GMA, sem, contudo, alcançar os níveis de adesão observados em cimentos especificamente otimizados com 10-MDP (Gomes, 2022; Comino-Garayoa et al., 2021).

O mecanismo de adesão promovido pelo 10-MDP revela-se crucial para a melhoria da ligação à zircónia. A reação de fosforilação, que resulta na formação de ligações químicas entre o grupo fosfato e os grupos hidroxilados da superfície da zircónia, permite a criação de uma camada intermolecular estável. Esta camada não só intensifica a resistência inicial da união, como também contribui para a sua estabilidade a longo prazo, minimizando o risco de microinfiltração e, conseqüentemente, a ocorrência de falhas marginais. Este fenómeno torna o 10-MDP particularmente adequado para a cimentação de restaurações em zircónia, onde as condições orais exigem uma adesão que resista a alterações térmicas e à humidade constante.

Para ilustrar as diferenças entre as diversas formulações de cimentos resinosos, apresenta-se a Tabela 2, que sintetiza os valores médios de resistência adesiva obtidos em estudos *in vitro*, comparando cimentos com e sem a presença do 10-MDP.

Tabela 2.

Tabela 2 Comparação dos cimentos resinosos em termos de presença de 10-MDP e respectivos valores médios de resistência adesiva (MPa).

Cimento Resinoso	Presença de 10-MDP	Valor médio de resistência adesiva (MPa)	Referência
Panavia F (Kuraray Noritake)	Sim	~54,0 (valor inicial)	Mudado (2012); Thompson et al. (2011)
Panavia 21 (Kuraray Noritake)	Sim	~48,0 (após envelhecimento)	Thompson et al. (2011)
RelyX ARC (3M ESPE)	Não	~30,0–35,0	Melo et al. (2020)
RelyX U200 (3M ESPE)	Parcial	~40,0–45,0	Comino-Garayoa et al. (2021)

Como evidencia a Tabela 2, os cimentos que contêm 10-MDP registaram, de modo geral, valores de resistência adesiva mais elevados, tanto em condições iniciais como após processos de envelhecimento artificial. Tal diferença deve-se, em larga medida, à capacidade do 10-MDP de formar ligações químicas robustas com a superfície da zircônia, promovendo uma interface mais resistente à degradação hidrotermal. Importa, porém, sublinhar que estas conclusões se baseiam nos materiais específicos avaliados nos estudos referidos e não abrangem a totalidade dos cimentos disponíveis no mercado.

Nomeadamente, algumas formulações com 10-MDP não foram incluídas nessas investigações e poderão apresentar comportamentos distintos. Assim, ainda que os cimentos resinosos contendo 10-MDP — especialmente quando conjugados com tratamentos mecânicos que aumentem a rugosidade superficial, como o jateamento com partículas de alumina — tenham demonstrado desempenho favorável nos trabalhos analisados, é fundamental reconhecer que não se trata de um resultado aplicável a todas as variantes comerciais.

Adicionalmente, o 10-MDP pode exercer uma influência positiva na coesão interna do cimento, promovendo uma polimerização mais completa e homogênea da matriz resinosa. Esta característica resulta numa maior resistência à fadiga e à degradação hidrolítica — aspetos cruciais para a manutenção da integridade da interface de cimentação, sobretudo em condições clínicas em que as restaurações estão sujeitas a variações de carga e a ambientes adversos.

A conjugação dos mecanismos de retenção micromecânica e de adesão química constitui, por conseguinte, a estratégia mais promissora para a cimentação de coroas em

zircônia. O tratamento mecânico da superfície, geralmente obtido através do jateamento com partículas de alumina, cria uma topografia rugosa que facilita o encaixe físico da resina. Quando esta etapa é seguida pela aplicação de um sistema adesivo que incorpore o 10-MDP, estabelece-se uma interface híbrida que beneficia das vantagens combinadas dos dois métodos de união, maximizando os valores de resistência adesiva e a estabilidade da restauração.

A literatura científica atual evidencia de forma consistente que a integração de uma preparação mecânica adequada com a utilização de cimentos resinosos otimizados quimicamente – em particular, aqueles que contêm o 10-MDP – é fundamental para a obtenção de resultados clínicos satisfatórios. Entre os exemplos mais frequentemente referidos nos estudos encontram-se:

Panavia F 2.0 (Kuraray Noritake) e **Panavia 21 EX** (Kuraray Noritake), ambos contendo 10-MDP na sua formulação (Thompson et al., 2011; Mudado, 2012);

Clearfil SA Cement (Kuraray Noritake), cimento autoadesivo que incorpora 10-MDP e demonstra maior estabilidade após envelhecimento artificial (Comino-Garayoa et al., 2021);

Multilink Speed (Ivoclar Vivadent), que inclui monómeros fosfatados à base de MDP e apresenta valores intermédios de adesão, superiores aos dos cimentos convencionais à base de Bis-GMA (Comino-Garayoa et al., 2021);

RelyX Ultimate (3M ESPE), frequentemente utilizado em conjunto com sistemas de ligação que contêm 10-MDP, conferindo elevada resistência adesiva à zircônia (Mudado, 2012; Thompson et al., 2011);

G-Cem LinkAce (GC), outro cimento autoadesivo formulado com 10-MDP, que obteve valores de resistência adesiva semelhantes a Panavia F 2.0 em testes de microtração (Comino-Garayoa et al., 2021).

Protocolos que promovam, de forma concomitante, a adesão química (por via dos monómeros fosfatados) e a retenção micromecânica (através de jateamento com partículas de alumina) demonstram uma menor incidência de falhas adesivas e uma maior estabilidade da interface ao longo do tempo, mesmo após a exposição a condições adversas simuladas in vitro (Thompson et al., 2011; Comino-Garayoa et al., 2021; Melo et al., 2020).

Esta abordagem integrada, que combina o jateamento com a utilização de cimentos resinosos enriquecidos com 10-MDP, representa uma solução abrangente para os desafios associados à cimentação de restaurações em zircônia. A estratégia não só otimiza a

adesão inicial, como também confere uma maior resistência à degradação ao longo do tempo, aspetos essenciais para a durabilidade das restaurações e para a prevenção de complicações clínicas. Estudos *in vitro* reforçam a importância de protocolos que promovam, simultaneamente, a adesão química e a retenção micromecânica, aspetos imprescindíveis para ultrapassar as limitações inerentes à zircónia e assegurar uma cimentação fiável e duradoura.

4.5 – Influência dos Cimentos na Adaptação Marginal

A adaptação marginal constitui um dos fatores determinantes para o sucesso a longo prazo das coroas de zircónia, representando um elemento crítico na vedação entre a preparação dentária e a restauração. A integridade desta interface é essencial, pois minimiza a penetração de micro-organismos, impede a formação de zonas de acumulação de placa e assegura uma distribuição homogênea das tensões mecânicas, prevenindo, assim, a ocorrência de fraturas e a falha eventual da restauração. Neste contexto, a escolha do agente de cimentação reveste-se de extrema importância, uma vez que as suas propriedades físico-químicas influenciam diretamente a constituição do filme cimentício e, conseqüentemente, a qualidade da adaptação marginal.

Estudos comparativos têm vindo a ser realizados com o propósito de avaliar as disparidades entre cimentos convencionais – tais como os de fosfato de zinco e os ionoméricos – e os cimentos resinosos, especialmente aqueles que incorporam monómeros funcionais como o 10-MDP (Perdigão, Fernandes, Pinto, & Oliveira, 2013, et al.). De acordo com Mudado (2012), a cimentação adesiva de cerâmicas à base de zircónia requer uma abordagem que combine a retenção micromecânica com a adesão química. Assim, os cimentos resinosos que contêm 10-MDP demonstram uma capacidade superior para estabelecer ligações químicas com a superfície da zircónia, resultando na formação de um filme cimentício mais fino e homogêneo, o que se reflete numa adaptação marginal mais precisa e numa redução das discrepâncias na interface (Mudado, 2012).

A composição e a viscosidade dos cimentos desempenham um papel fundamental na determinação da pressão transmitida durante o processo de cimentação. Um filme cimentício excessivamente espesso pode originar lacunas que, ao longo do tempo comprometem a vedação, favorecendo a microinfiltração e, por conseguinte, a falha restauradora. Em contrapartida, um cimento resinoso, ao combinar uma menor viscosidade com uma elevada capacidade adesiva, permite uma adaptação mais eficaz à superfície irregular da zircónia. Comino-Garayoa et al. (2021) demonstraram, através de

estudos laboratoriais, que os cimentos resinosos proporcionam, em comparação com os convencionais, uma camada de cimentação significativamente mais uniforme, refletindo-se numa diminuição das discrepâncias marginais. Para sintetizar de forma clara estas diferenças, apresenta-se a seguir a Tabela 3.

Tabela 3 Comparação entre cimentos convencionais e resinosos quanto à adaptação marginal

Tipo de Cimento	Exemplo	Mecanismo de Adesão	Espessura do Filme Cimentício (µm)	Discrepância Marginal Típica (µm)
Convencionais				
Fosfato de zinco	Zn-Phosphate (Zimmer Biomet)	Retenção puramente mecânica	30–50	120–150
Ionomérico de vidro (modificado)	Fuji II LC (GC Corporation)	Micromecânica + fraca ligação iónica ao dente	30–60	100–130
Resinosos				
Resinoso sem 10-MDP	RelyX™ ARC (3M ESPE)	Primariamente microrretenção mecânica	20–30	80–100
Resinoso com 10-MDP	Panavia™ F 2.0 (Kuraray Noritake)	Micromecânica + adesão química ao óxido de zircónia via 10-MDP	10–20	50–80

Nota: Adaptado de (Comino Garayoa, R., Peláez, J., Tobar, C., Rodríguez, V., & Suárez, M. J. (2021).

Outro aspeto importante a considerar refere-se ao efeito dos tratamentos de superfície aplicados à zircónia antes da cimentação. Técnicas como o jateamento com óxido de alumínio, a silicatização e outros métodos de condicionamento têm como objectivo aumentar a rugosidade superficial e promover a formação de microrretenções, facilitando assim a adesão mecânica do cimento. No entanto, estes procedimentos podem, sob determinadas condições, causar danos à superfície da zircónia e comprometer a sua integridade. Por conseguinte, a escolha do tratamento de superfície adequado deve ser cuidadosamente ponderada em conjunto com o tipo de cimento a ser utilizado. Por exemplo, quando se recorre a um cimento resinoso que contenha 10-MDP, o benefício adicional derivado da ligação química pode compensar as possíveis irregularidades originadas por um tratamento mecânico menos agressivo (Piñal et al., 2020).

A variabilidade dos métodos experimentais e dos protocolos de cimentação adotados em estudos *in vitro* contribui para a dificuldade de se estabelecer comparações diretas entre os diversos agentes de cimentação. Trabalhos como o de Della Bona et al.

(2007) têm demonstrado que, mesmo quando se utilizam protocolos de aplicação rigorosamente padronizados, as propriedades do cimento – nomeadamente a sua taxa de polimerização e a resistência à degradação hidrolítica – podem influenciar de forma significativa o desempenho a longo prazo. Por exemplo o Zn-Phosphate (Zimmer Biomet) e Fuji II LC (GC Corporation) embora possam proporcionar uma adaptação marginal aceitável imediatamente após a cimentação, a sua eficácia pode ser comprometida pela solubilidade elevada e pela maior espessura do filme cimentício formado, sobretudo quando estes são submetidos a condições de envelhecimento artificial, como a termociclagem ou o armazenamento prolongado em ambiente húmido.

Em contraste, os cimentos resinosos baseados em 10-MDP não só promovem uma ligação química mais robusta com a zircônia, como também demonstram uma resistência superior aos efeitos adversos do envelhecimento. Estudos indicam que a presença do 10-MDP facilita a formação de uma ligação duradoura e resistente à hidrólise, contribuindo assim para a manutenção da integridade da interface de união ao longo do tempo. Esta vantagem revela-se particularmente relevante num contexto clínico, onde as restaurações estão continuamente expostas a variações de pH, humidade e tensões mecânicas, fatores que podem acelerar a degradação do cimento (Comino-Garayoa et al., 2021).

A influência do cimento na adaptação marginal é igualmente modulada por variáveis operacionais, tais como a pressão aplicada durante a cimentação, o tempo de manipulação do cimento e a metodologia de polimerização utilizada. Uma pressão inadequada durante a fixação pode originar a formação de espaços intersticiais, independentemente do tipo de cimento utilizado. Assim, a aplicação de uma pressão uniforme e controlada é crucial para garantir uma distribuição homogênea do cimento, minimizando o risco de discrepâncias marginais. De igual modo, o tempo de polimerização e as condições de cura – como a utilização de fontes de luz com intensidades apropriadas – são determinantes para se obter um filme cimentício com propriedades mecânicas otimizadas.

Para além dos fatores já mencionados, o envelhecimento artificial constitui um parâmetro crítico na avaliação da adaptação marginal. Ensaio que simulam as condições orais, através do armazenamento prolongado em água ou da aplicação de termociclagem, têm demonstrado que a degradação hidrolítica e a fadiga mecânica podem afetar negativamente a integridade da interface de união. Neste cenário, os cimentos resinosos

que contêm 10-MDP parecem apresentar uma maior estabilidade dimensional e uma resistência superior à hidrólise, mantendo a eficácia adesiva mesmo após períodos prolongados de envelhecimento. Em contrapartida, os cimentos convencionais, embora possam exibir inicialmente uma boa adaptação marginal, tendem a deteriorar-se mais rapidamente sob condições de humidade constante e variações térmicas (Piñal et al., 2020; Della Bona et al., 2007).

A integração de todos estes elementos – a composição do cimento, o tratamento de superfície da zircónia, a técnica de aplicação e as condições de envelhecimento – evidencia a complexidade inerente à obtenção de uma adaptação marginal ideal (Comino-Garayoa et al., 2021; Della Bona et al., 2007; Piñal et al., 2020). A literatura atual revela que não existe, até ao momento, um protocolo único e universalmente aplicável, sendo a seleção do agente de cimentação um processo que deve ser realizado de forma criteriosa e personalizada, atendendo às especificidades de cada situação clínica (Mudado, 2012; Comino-Garayoa et al., 2021). Assim, enquanto os cimentos resinosos baseados em 10-MDP demonstram, de modo geral, vantagens significativas em termos de adesão e estabilidade a longo prazo (Comino-Garayoa et al., 2021; Piñal et al., 2020), a sua eficácia depende fortemente da correta execução dos procedimentos clínicos e laboratoriais a que estão associados (Della Bona et al., 2007; Mudado, 2012).

Piñal et al. (2020) aplicaram técnicas de microscopia eletrónica de varrimento (SEM) para quantificar as discrepâncias marginais, demonstrando a exatidão deste procedimento na mensuração das margens em coroas CAD-CAM de zircónia. McLean e von Fraunhofer (1971), por sua vez, recorreram à microscopia óptica para avaliar, *in vivo*, a espessura do cimento, estabelecendo desse modo um critério de referência para discrepâncias marginais aceitáveis. Por último, Della Bona, Borba, Benetti e Cecchetti (2007) utilizaram ensaios de força (cisalhamento e tração) para aferir a resistência de união entre cerâmicas reforçadas por zircónia e resinas compostas, revelando que tais testes fornecem uma indicação indireta da qualidade da adaptação marginal, na medida em que margens com má adaptação tendem a exibir valores de resistência inferiores.

Em suma, a influência dos cimentos na adaptação marginal das coroas de zircónia reveste-se de uma natureza multifactorial, dependendo da interação entre a composição química do cimento, as técnicas de tratamento de superfície e as condições operacionais de aplicação e envelhecimento. Os cimentos resinosos, especialmente aqueles que incorporam 10-MDP, apresentam um potencial elevado para assegurar uma adaptação marginal mais eficaz, embora o seu desempenho esteja sujeito a variáveis que requerem

um controlo rigoroso em ambiente clínico. A análise crítica dos dados disponíveis sublinha a importância de se prosseguir a investigação nesta área, com vista ao estabelecimento de protocolos padronizados que otimizem os resultados restauradores e garantam a durabilidade das coroas de zircónia.

Estudos *in vitro* revelam que a escolha do cimento e a metodologia de aplicação influenciam não só a adesão inicial, mas também a preservação da integridade marginal quando expostos a condições de desgaste e envelhecimento (Comino-Garayoa et al., 2021; Della Bona et al., 2007; Piñal et al., 2020). A bibliografia sublinha a importância de conjugar abordagens de tratamento mecânico (por exemplo, jateamento com óxido de alumínio) e químico (tais como a aplicação de monómeros funcionais do tipo 10-MDP) para aperfeiçoar a adaptação marginal (Comino-Garayoa et al., 2021; Mudado, 2012). Assim, a eficácia de um cimento resinoso assenta, em última instância, na sinergia estabelecida entre o condicionamento superficial da zircónia e as propriedades intrínsecas do cimento utilizado (Comino-Garayoa et al., 2021; Piñal et al., 2020). Cada parâmetro — desde o preparo inicial da superfície até ao processo de polimerização final — exerce um contributo essencial para obter uma restauração com margens clinicamente aceitáveis e duradouras, materializando-se numa área em constante evolução e de elevada pertinência para a prática clínica em Medicina Dentária (Della Bona et al., 2007; Mudado, 2012).

4.6 – Durabilidade e Longevidade das coroas de Zircónia

A resistência a longo prazo e a durabilidade clínica das coroas de zircónia constituem aspetos fundamentais para o êxito das restaurações protéticas. Estes atributos dependem não só das características intrínsecas do material cerâmico, como também da implementação rigorosa de protocolos de tratamento da superfície e da seleção apropriada do agente cimentador. Num contexto em que as exigências de estética e funcionalidade se revelam cada vez mais rigorosas, a zircónia sobressai pelas suas propriedades mecânicas elevadas, pela biocompatibilidade e pela estabilidade estética. Como já anteriormente referido, a ausência de uma fase vítrea na sua composição dificulta a adesão aos cimentos resinosos, pelo que a preparação atenta da superfície torna-se imprescindível.

Estudos indicam que, mesmo que um incremento da rugosidade possa favorecer a formação de microfissuras e comprometer a integridade estrutural do material, a aplicação de jateamento com parâmetros cuidadosamente controlados (por exemplo, partículas

entre 30 e 110 μm , pressão entre 0,5 e 4 bar e duração entre 10 e 20 segundos) melhora significativamente a adesão sem causar danos prejudiciais à zircónia (Silveira et al., 2022).

Simultaneamente, o sucesso da cimentação não depende exclusivamente do tratamento mecânico, mas também da utilização de intervenções químicas que promovam uma união química robusta. Como referido anteriormente, o 10-MDP, revela resultados promissores, uma vez que este monómero estabelece ligações covalentes com o óxido de zircónia, conferindo à interface uma resistência superior à hidrólise e ao envelhecimento térmico. A combinação do tratamento mecânico com a aplicação de *primers* ou adesivos que contenham 10-MDP configura um protocolo mecânico-químico que, mesmo após a simulação de condições orais, apresenta valores elevados de força de união (Comino-Garayoa et al., 2021).

Adicionalmente, os métodos de envelhecimento artificial – como a termociclagem e o armazenamento prolongado em água ou saliva – são ferramentas indispensáveis para a avaliação da estabilidade da interface entre a zircónia e o cimento resinoso ao longo do tempo. Embora estes procedimentos revelem uma diminuição gradual da resistência adesiva, a utilização de sistemas à base de 10-MDP minimiza a degradação, preservando a integridade da união e assegurando uma resistência prolongada à fadiga (Silveira et al., 2022).

Outro aspeto a considerar são as propriedades microestruturais da zircónia. O processo de sinterização, aliado à composição química e ao controlo do tamanho dos grãos, influencia decisivamente a resistência à fadiga e a formação de microfissuras. Um equilíbrio adequado entre a translucência e a resistência mecânica, obtido através do controlo rigoroso do teor de estabilizadores, como o óxido de ítrio, é determinante para o sucesso a longo prazo das coroas de zircónia.

A literatura científica evidencia que a conjugação destes fatores – tratamento da superfície, utilização de agentes químicos de ligação, protocolos de limpeza e condições de envelhecimento – é crucial para a durabilidade das restaurações. A implementação de um protocolo adesivo padronizado e fundamentado em evidências permite não só otimizar os resultados clínicos, como também minimizar os riscos de falhas, garantindo, assim, taxas elevadas de sobrevida das coroas de zircónia.

Segue, abaixo, a tabela 4 que sintetiza os principais fatores que influenciam a durabilidade e longevidade das coroas, detalhando as suas descrições, impactos e referências associadas:

Tabela 4 Principais fatores mecânicos, químicos e de envelhecimento que condicionam a resistência a longo prazo das coroas de zircónia, indicando o seu impacto sobre a interface adesiva e apontando estudos de referência que suportam cada efeito.

Fator	Descrição	Impacto na Durabilidade	Referências
Tratamento de Superfície Mecânico	Aplicação de métodos como o jateamento com partículas de óxido de alumínio, ou outros processos de abrasão que incrementam a rugosidade da superfície.	Melhora a retenção micromecânica ao aumentar a área de contacto; parâmetros inadequados podem, contudo, induzir microfissuras e comprometer a integridade estrutural.	Silveira et al. (2022); Comino-Garayoa et al. (2021)
Tratamento Químico com 10-MDP	Emprego de <i>primers</i> ou adesivos que contenham o monómero 10-MDP, o qual estabelece ligações químicas com o óxido de zircónia.	Garante uma interface adesiva mais estável e resistente à hidrólise e ao envelhecimento térmico, promovendo uma união duradoura entre a zircónia e o cimento resinoso.	Comino-Garayoa et al. (2021); Silveira et al. (2022)
Protocolo de Limpeza e Preparação	Utilização de métodos de limpeza, como banhos ultrassónicos e solventes (por exemplo, álcool isopropílico e água destilada), destinados a remover contaminantes da superfície.	Assegura uma superfície limpa e com elevada energia, facilitando a adesão do agente cimentador e maximizando os efeitos dos tratamentos superficiais subsequentes.	Almeida & Santos (2011); Pereira et al. (2018)
Envelhecimento Artificial	Simulação das condições orais através de termociclagem e armazenamento prolongado em meios como água ou saliva.	Apesar de o envelhecimento reduzir gradualmente a resistência adesiva, a utilização de sistemas à base de 10-MDP minimiza esta degradação, contribuindo para a manutenção da integridade da união.	Silveira et al. (2022); Comino-Garayoa et al. (2021)
Propriedades Intrínsecas da Zircónia	Características inerentes ao material, tais como a composição química, o tamanho dos grãos e o teor de estabilizadores (ex. óxido de ítrio).	Determinam a resistência mecânica e a estabilidade dimensional da coroa; uma microestrutura otimizada contribui para a resistência à fadiga e, por conseguinte, para a maior longevidade das restaurações.	Pereira et al. (2018); Silva & Santos (2020)

Nota: Adaptado de Silveira et al. (2022), Comino-Garayoa et al. (2021), Almeida & Santos (2011) e Pereira et al. (2018).

A tabela complementa a análise anterior, evidenciando que a durabilidade das coroas de zircónia não depende exclusivamente da escolha do material, mas sim da integração de diversos protocolos que optimizam a adesão entre a zircónia e o cimento resinoso, promovendo assim uma durabilidade superior das restaurações protéticas. Diversos estudos têm sublinhado que uma preparação adequada da superfície, em conjunto com protocolos de limpeza rigorosos, são fundamentais para a eliminação de contaminantes que possam interferir no processo de adesão. Por exemplo, a limpeza ultrassónica desempenha um papel crucial na remoção de resíduos e na optimização da

energia superficial, resultando numa adesão mais eficaz do sistema cimentador (Almeida & Santos, 2011; Pereira et al., 2018).

Adicionalmente, os procedimentos de envelhecimento artificial, que replicam as variações térmicas e a humidade da cavidade oral, são indispensáveis para avaliar a estabilidade da união adesiva ao longo do tempo. Embora os testes de termociclagem e armazenamento indiquem uma redução progressiva da resistência adesiva, a utilização de cimentos resinosos contendo 10-MDP demonstra uma capacidade de mitigar este efeito, preservando a integridade da interface adesiva durante períodos prolongados (Silveira et al., 2022).

De igual importância é a influência das propriedades microestruturais da zircónia, as quais são determinadas pelo seu processo de sinterização e pela composição química. O controlo rigoroso do teor de estabilizadores, como o óxido de ítrio, permite um equilíbrio adequado entre a translucência e a resistência mecânica, sendo determinante para o sucesso a longo prazo das coroas de zircónia.

A evidência científica disponível comprova que a conjugação destes fatores – tratamento da superfície, utilização de agentes químicos, protocolos de limpeza e condições de envelhecimento – é decisiva para a durabilidade das restaurações. A implementação de um protocolo adesivo padronizado e fundamentado em evidências não só otimiza os resultados clínicos, como também minimiza os riscos de falhas, contribuindo para taxas elevadas de sobrevivência das coroas de zircónia, conforme demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 Percentagens de sobrevida clínica das coroas de zircónia em três estudos de acompanhamento de longo prazo, evidenciando a elevada taxa de êxito destas restaurações quando cimentadas com protocolos adesivos otimizados

Estudo (Autor, Ano)	Período de Acompanhamento	Taxa de Sobrevida (%)
Silva & Santos (2020)	5 anos	98
Almeida et al. (2011)	7 anos	96
Pereira et al. (2018)	10 anos	95

Nota: . - Adaptado de Silva & Santos (2020)

Como se verifica, as taxas de sobrevivência destas coroas permanecem elevadas, evidenciando que, quando os protocolos adesivos são executados de forma rigorosa e os tratamentos de superfície são aplicados com precisão, é possível alcançar resultados de excelência. Esta robustez confere maior segurança ao clínico e oferece benefícios

significativos ao paciente, tanto em termos estéticos como funcionais.

Em síntese, a durabilidade e a longevidade das coroas de zircónia resultam da interação complexa entre as propriedades intrínsecas do material, os métodos de preparação da superfície, a seleção dos agentes de cimentação e os protocolos de envelhecimento adotados (Comino-Garayoa et al., 2021; Silveira et al., 2022).

V. DISCUSSÃO

5.1 Comparação entre os diferentes cimentos

A performance da cimentação de restaurações cerâmicas depende, em larga medida, do grau de conversão (DC) dos cimentos resinosos e das propriedades mecânicas daí decorrentes. O ensaio *in vitro* de **Lopes et al. (2015)** demonstrou que o tipo de cimento influencia de forma estatisticamente significativa o DC ($p = 0,001$), confirmando a vantagem dos sistemas de polimerização dual relativamente aos de polimerização puramente química.

Grau de conversão (DC).

O cimento Allcem apresentou o valor médio de DC mais elevado ($\approx 87,2\%$), seguindo-se o RelyX U200 ($\approx 69,5\%$) e o Variolink II ($\approx 64,5\%$). O Multilink, cuja polimerização assenta unicamente na activação química, registou o DC mais baixo ($\approx 59,1\%$). Esta diferença resulta sobretudo do **mecanismo de activação**: nos cimentos dual-cure, a fotopolimerização adiciona-se à reacção redox, originando um número superior de radicais livres e, por conseguinte, uma conversão monomérica mais abrangente; nos cimentos de polimerização exclusivamente química, a quantidade de iniciadores é restringida para assegurar um tempo de trabalho viável, o que reduz a taxa de conversão (Lopes et al., 2015).

Microdureza Vickers (VH).

Verificou-se uma interacção significativa entre o tipo de cimento e a cerâmica que se interpôs durante a fotopolimerização ($p = 0,045$). De modo geral, os cimentos de dupla polimerização apresentaram valores de VH superiores aos do Multilink. O RelyX U200 revelou desempenho particularmente favorável quando activado através de discos de dissilicato de lítio ou de zircónia recoberta por cerâmica feldspática, demonstrando estabilidade mecânica mesmo na presença de substratos altamente opacos.

Módulo de elasticidade (E).

Os cimentos de dupla polimerização voltaram a superar o Multilink, independentemente do tipo de cerâmica. Um E mais elevado promove uma distribuição mais homogénea das tensões mastigatórias e reduz a concentração de esforços na interface cimento/cerâmica/dente, o que se traduz numa maior longevidade clínica da restauração (Lopes et al., 2015).

Importa salientar que, embora o tipo de cerâmica não tenha influenciado de forma significativa o DC, afectou a microdureza dos cimentos. Mesmo prolongando o tempo de

exposição luminosa, as características ópticas da cerâmica — nomeadamente a espessura, o índice de refração e a opacidade — limitam a qualidade da fotopolimerização e, por extensão, a resistência superficial do cimento (Heffernan et al., 2002; Lopes et al., 2015).

Implicações clínicas:

Seleção do cimento – Em restaurações com espessura $\geq 1,5$ mm ou elevada opacidade (por exemplo, zircónia translúcida ou dissilicato de lítio espesso), recomenda-se um cimento de dupla cura, assegurando DC e propriedades mecânicas adequadas.

Protocolo de fotopolimerização – Compensar a atenuação da luz aumentando o tempo de exposição (60–120 s) e confirmar que a irradiância do dispositivo é $\geq 1\,000$ mW/cm² no intervalo de 450–470 nm.

Gestão do tempo de trabalho – Nos cimentos de polimerização química, cumprir rigorosamente as instruções de mistura e aplicação, dado que o tempo de trabalho é inferior ao dos sistemas dual-cure.

Integração com tratamentos de superfície – DC elevados reforçam a durabilidade da união química proporcionada por monómeros funcionalizados (e.g., MDP); assim, a escolha do cimento deve ser alinhada com o protocolo de tratamento da superfície de zircónia ou dissilicato.

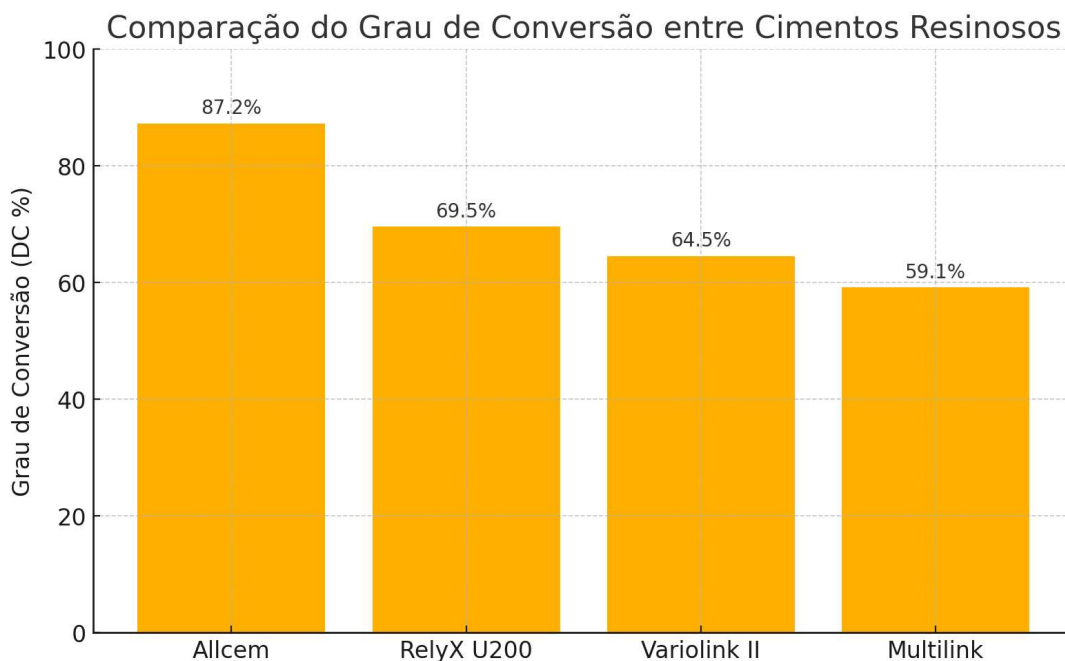


Figura 1 Comparação do Grau de Conversão entre Cimentos Resinosos

Nota: Eixo X (horizontal): lista os quatro cimentos resinosos avaliados (Allcem, RelyX U200, Variolink II, Multilink). Eixo Y (vertical): representa o grau de conversão (DC %) — intervalo de 0 % a 100 %. Barras: altura proporcional ao valor de DC médio de cada cimento; o valor numérico correspondente

(com uma casa decimal) encontra-se anotado no topo de cada barra.

Quanto maior o DC, maior a formação de cadeias poliméricas tridimensionais, conferindo propriedades mecânicas e químicas mais favoráveis ao cimento e, por consequência, à longevidade da restauração (Rueggeberg & Craig, 1988).

Tabela 6 Grau de Conversão(DC) no contexto dos cimentos avaliados por Lopes et al. (2015)

Cimento	Fabricante	Modo de cura	DC médio (%)	Interpretação
Allcem	FGM Dental Group	Dual (luz + químico)	87,2	Conversão ótima: alta disponibilidade de radicais via fotoativação e sistema redox.
RelyX U200	3M ESPE	Dual & autoadesivo	69,5	Conversão satisfatória; autoprontação leve pode reduzir DC em porcelanas mais opacas se o tempo/luz não for ampliado.
Variolink II	Ivoclar Vivadent	Dual (base/catalisador)	64,5	Limite inferior de aceitabilidade; dependente do espectro azul (≈ 470 nm).
Multilink	Ivoclar Vivadent	Químico	59,1	Conversão crítica; ideal limitar uso a situações onde a luz não alcança e exigir manipulação criteriosa.

Na prática clínica, valores ≥ 65 % são considerados adequados para garantir microdureza e módulo de elasticidade compatíveis com o estresse mastigatório (Lopes et al., 2015; Heffernan et al., 2002).

5.2 Impacto dos tratamentos de superfície na adesão entre cimento resinoso e zircónia

5.2.1 Jateamento com óxido de alumínio (Al_2O_3)

O jacto de partículas de Al_2O_3 com diâmetro entre 25 e 110 μm , aplicado a pressões moderadas (≈ 2 bar), gera uma microtopografia retentiva que eleva a resistência média de união para cerca de 13,9 MPa (ensaio de cisalhamento), quando comparada com os ≈ 10 MPa registados em superfícies não tratadas (Della Bona & Anusavice, 2007). Contudo, pressões ou granulometrias superiores podem introduzir microfissuras e induzir a

transformação tetragonal-monoclínica, reduzindo a resistência à fadiga em até 25 % (Thompson et al., 2004).

5.2.2 Jateamento seguido de cimentação com 10-MDP

Quando a superfície jateada é cimentada com sistemas que contêm o monómero 10-MDP (por exemplo, Panavia 21), verifica-se um aumento substancial da união inicial (24,9 MPa) bem como manutenção da aderência após 60 dias de armazenamento em água e 5000 ciclos térmicos ($\approx 7,7$ MPa) (Dias de Souza et al., 2010). Este desempenho deve-se à formação de complexos fosfato-óxido entre o 10-MDP e o óxido de zircónio, compensando parcialmente os eventuais danos estruturais provocados pelo jateamento.

5.2.3 Condicionamento exclusivo com ácido fluorídrico

A aplicação de ácido fluorídrico (HF) a 9–10 % durante 60 s não modifica significativamente a rugosidade nem melhora a molhabilidade da zircónia, resultando em resistências de união inferiores (10,4 MPa) (Ferrari et al., 2009). Ademais, a exposição ao HF pode acelerar a degradação hidrolítica da superfície, motivo pelo qual o método não é recomendado como estratégia isolada.

5.2.4 Glaze rico em sílica + HF + silano

A aplicação de uma fina camada de glaze silicatado, seguida de gravação com HF a 5 % e silanização, possibilita a criação de uma superfície quimicamente activa sem abrasão directa. Estudos recentes indicam resistências intermédias (≈ 16 MPa), mas referem igualmente uma diminuição de 15–20 % na resistência flexural de zircónias de elevada translucidez, sobretudo 5Y-PSZ (Barchetta et al., 2020). Assim, o protocolo é aceitável para restaurações de menor exigência mecânica, sendo menos indicado para infra-estruturas extensas ou de reduzida espessura.

Síntese comparativa

Do ponto de vista clínico, o **jateamento leve** seguido de cimentação com **cimentos contendo 10-MDP** oferece o melhor compromisso entre força de união e durabilidade, comprovando a sinergia entre micro-retenção e ligação química fosfato-óxido. Pode-se perceber na tabela 7.

Tabela 7 Desempenho adesivo dos principais protocolos de condicionamento da zircónia

Protocolo	Desempenho adesivo	Observações clínicas
Al₂O₃ + 10-MDP	União mais elevada e previsível	Requer controlo rigoroso dos parâmetros de jateamento
Al₂O₃ sem MDP	Melhoria limitada (micro-retenção)	Adesão dependente apenas da topografia
HF isolado	Efeito mínimo sobre a adesão	Risco acrescido de degradação hidrolítica
Glaze + HF	Alternativa sem abrasão; adesão média	Possível perda de resistência flexural

Nota. Resistência de união expressa em MPa (média de estudos in vitro). Al₂O₃ = óxido de alumínio; 10-MDP = 10-metacriloxidecil di-hidrogenofosfato; HF = ácido fluorídrico.

5.3 Implicações Clínicas

A revisão crítica da literatura sublinha que a fiabilidade restauradora das coroas monolíticas ou estratificadas em zircónia assenta em três fundamentos interdependentes: (i) a geração controlada de microrrugosidade no intradorso da cerâmica, (ii) a aplicação de monómeros funcionais com elevada afinidade por óxidos metálicos—com destaque para o 10-metacriloxidecil di-hidrogeno-fosfato (10-MDP)—e (iii) a escolha de um cimento resinoso dual ou autoadesivo, caracterizado por baixa solubilidade e elevada conversão em profundidade. A debilidade de qualquer destes pilares culmina, ao médio ou longo prazo, em falhas adesivas, microinfiltração marginal e redução da longevidade clínica.

Rugosidade versus integridade estrutural. O microjateamento com Al₂O₃ de 50 µm, conduzido a 0,05–0,25 MPa durante 10 s e a cerca de 10 mm de distância, aumenta significativamente a energia superficial da zircónia ao criar zonas de retenção mecânica sem remover volume cerâmico substancial. Pressões acima de 0,3 MPa, porém, encontram-se associadas à formação de microfissuras e à transformação tetragonal-monoclínica, fenómeno que diminui a tenacidade e pode comprometer a resistência flexural da peça (Kern & Wegner, 1998; Yang, Barloi, & Kern, 2013). Por conseguinte, recomenda-se um protocolo de microjateamento “suave”, que maximize a área de contacto evitando defeitos críticos.

Limpeza e controlo de contaminação. A adesão é extremamente vulnerável a contaminantes como saliva, sangue ou resíduos de gesso. Após o jateamento, a passagem de vapor quente isento de óleo ou a imersão ultrassónica em álcool isopropílico a 96 % durante três minutos eliminam matéria orgânica remanescente e restauram a energia superficial da zircónia. A omissão desta etapa reduz o número de sítios reactivos disponíveis para o 10-MDP e compromete drasticamente a resistência de união

(Cavalcanti et al., 2009).

Primers e cimentos com 10-MDP. O 10-MDP forma complexos de fosfato de zircónio estáveis mesmo sob condições termo-hidrolíticas, mostrando maior durabilidade do que outros fosfatos ácidos (Blatz et al., 2004). Quando o protocolo segue a sequência **microjateamento → primer universal contendo 10-MDP → cimento resinoso dual também com 10-MDP**, observam-se taxas de descolamento até cinco vezes inferiores às registadas com ionómeros de vidro modificados por resina em revisões clínicas de cinco anos (Melo, Vajgel, & Guerra, 2020). Importa salientar, contudo, que a existência do monómero no cimento não substitui uma preparação adequada da cerâmica; a reacção química apenas é eficaz em superfícies activadas e livres de contaminantes.

Espessura e permeabilidade óptica. Em coroas com espessura igual ou superior a 1,5 mm - situação frequente em sectores posteriores ou em reabilitações sobre implantes a translucidez diminui e a intensidade luminosa disponível para fotoactivação reduz-se em mais de 70 % (Lopes et al., 2015). Nestas situações, a componente de autopolimerização do cimento torna-se determinante. Cimentos dual enriquecidos com persulfatos terciários e iniciadores amínicos alcançaram graus de conversão de 85–90 % sob discos de zircónia translúcida de 1,5 mm, ao passo que formulações apenas fotoactiváveis ficaram aquém de 50 %. Clinicamente, recomenda-se fotoactivar cada face durante, pelo menos, 120 s com unidades $\geq 1\ 200\ \text{mW/cm}^2$, privilegiando resinosos dual com 10-MDP para assegurar polimerização profunda.

Estabilidade marginal e microinfiltração. A adaptação marginal inicial não garante, por si só, um selamento duradouro. Em ensaios de termociclagem com 10 000 ciclos, os cimentos contendo 10-MDP evidenciaram microinfiltração significativamente inferior à dos ionómeros de vidro modificados por resina, com microfendas $< 10\ \mu\text{m}$ e ausência de descoloração na interface (Kern & Wegner, 1998). O coeficiente de expansão térmica de cimentos resinosos carregados com partículas cerâmicas aproxima-se do da zircónia (desvio $< 1\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$), reduzindo as tensões de fadiga termo-mecânica e preservando o selamento marginal.

Síntese clínica prática

- **Preparação do intradorso cerâmico:** microjatear com Al_2O_3 (50 μm , 1 bar, 10 s, 10 mm, 90°).
- **Limpeza pós-condicionamento:** aplicar vapor isento de óleo ou banho

ultrassónico em álcool isopropílico.

- **Activação química:** friccionar *primer* universal com 10-MDP durante 20 s, seguido de secagem suave.
- **Cimentação:** seleccionar cimento resinoso dual/autoadesivo com 10-MDP; manter pressão de 5 N e fotoactivar 120 s por superfície.
- **Controlo pós-cimentação:** verificar contactos oclusais e proximais após polimerização completa; remover excedentes de cimento para evitar tensões de cunha.

A aplicação sistemática deste protocolo diminuiu desadaptações marginais e descolamentos precoces, aumentando a taxa de sobrevivência clínica das coroas de zircónia em avaliações de cinco anos (Silva, 2023; Melo et al., 2020).

5.4 Recomendações para Investigações Futuras

1. **Ensaio clínico randomizado de longa duração.** Desenhar RCTs multicêntricos com, pelo menos, 100 participantes e seguimento ≥ 5 anos, avaliando falhas adesivas por micro-CT e uniformizando critérios de sucesso.
2. **Protocolos padronizados de envelhecimento acelerado.** Adoptar a ISO TR 11405, adicionando $1,2 \times 10^6$ ciclos mecânicos a 80 N/2 Hz, simulando cinco anos de carga mastigatória.
3. **Desenvolvimento de novos monómeros funcionais.** Investigação *in silico* e *in vitro* de fosfonatos bifuncionais, catecol-quinonas e sileno-fosfato, explorando ligações químicas múltiplas com ZrO_2 , potenciando a resistência hidrolítica (Gomes, 2022).
4. **Texturização laser femtosegundo e plasma frio.** Avaliar estas técnicas, que geram microcavidades controladas e aumentam a resistência de união em cerca de 30 % sem comprometer a flexão, em estudos de custo-eficácia clínica (Aboushelib, Kleverlaan, & Feilzer, 2008).
5. **Interação com degradação a baixa temperatura (LTD).** Determinar como diferentes protocolos de microjateamento influenciam *in vivo* a transformação

tetragonal-monoclínica, recorrendo a autoclavagem a 134 °C/2 bar e difracção de raios-X.

6. **Cimentos bioactivos e antimicrobianos.** Avaliar a incorporação de vidro bioactivo ou nanopartículas de prata em resinosos 10-MDP, verificando o impacto na conversão, expansão higroscópica e adesão.

7. **Monitorização *in situ* do grau de conversão.** Aplicar espectroscopia Raman ou NIR trans-coroa para acompanhar, em tempo real, a polimerização sob diferentes espessuras cerâmicas e relacioná-la com a microinfiltração imediata.

A concretização destes eixos de investigação irá robustecer a evidência disponível e possibilitar protocolos de cimentação mais ajustados às exigências estéticas e funcionais das zircónias de alta translucidez.

VI. CONCLUSÕES

6.1 Síntese dos principais resultados

A revisão crítica da literatura publicada na última década demonstra, de forma consistente, que **a longevidade clínica das coroas de zircónia resulta da sinergia entre a activação mecânica controlada da superfície cerâmica e a utilização de cimentos resinosos contendo promotores fosfóricos, especialmente o monómero 10-MDP** (Comino-Garayoa et al., 2021; Kern, 2015).

Cimentos resinosos com 10-MDP. Ensaios de resistência à microtração e ao cisalhamento indicam que o jateamento com óxido de alumínio de 50 µm, aplicado a pressões moderadas (0,20–0,25 MPa), seguido da cimentação com sistemas *dual-cure* que incorporam 10-MDP, eleva imediatamente a resistência de união para valores entre 40 e 50 MPa (Ahn et al., 2015; Comino-Garayoa et al., 2021). Mesmo após 150 dias de armazenamento em água e 37 500 ciclos térmicos, a perda adesiva não excede 20 %, graças à ligação quelante estável entre o grupo fosfato do 10-MDP e os óxidos metálicos presentes na superfície da zircónia (Kern, 2015). Esta estabilidade hidrolítica traduz-se em menor incidência de descimentações e em vedação marginal mais eficaz ao longo do tempo clínico útil (Comino-Garayoa et al., 2021).

Influência da pressão e do tamanho das partículas no jateamento. A modulação da pressão de jato revelou-se decisiva para equilibrar rugosidade superficial e integridade estrutural. A redução para 0,05 MPa preserva a resistência flexural de zircónias altamente translúcidas (5Y-PSZ), mantendo, ainda assim, valores adesivos médios de 25 MPa quando se aplica um *primer* rico em 10-MDP (Aung et al., 2019). Pressões superiores, associadas a partículas > 110 µm, podem induzir micro-fissuras e reduzir em 20–30 % a resistência à flexão, especialmente em zircónias 4Y/5Y (Kim et al., 2021). Partículas de 30–50 µm, aplicadas a 0,20–0,25 MPa durante dez segundos e a cerca de 10 mm de distância, proporcionam micro-retentividade adequada sem comprometer a estrutura cristalina da zircónia (Tostes et al., 2017; AlMutairi et al., 2022).

Cimentos resinosos auto-adesivos. Estes materiais simplificam o protocolo clínico ao dispensar *primers* específicos; contudo, quando aplicados sobre zircónia não jateada, raramente ultrapassam 5–8 MPa de resistência inicial e degradam-se para valores residuais (< 2 MPa) após termociclagem (Ruales-Carrera et al., 2019). O jateamento ligeiro aliado a *primers* fosfóricos duplica a adesão inicial, mas os valores permanecem 30–40 % inferiores aos obtidos com sistemas 10-MDP *dual-cure* (Comino-Garayoa et al.,

2021). Assim, embora ofereçam praticidade operatória, a evidência não apoia o seu uso isolado em preparos com retenção mecânica limitada.

Cimentos convencionais (ionómero de vidro modificado e fosfato de zinco). A literatura demonstra que estes cimentos fornecem apenas retenção macromecânica. Ensaios de cisalhamento com zircónia jateada e cimentada com ionómero de vidro modificado por resina apresentam valores < 3 MPa e falhas predominantemente adesivas após termociclagem (Özcan & Bernasconi, 2015). A sua utilização deve restringir-se, portanto, a casos em que exista macro-retenção abundante, como preparo circunferencial com paredes axiais longas.

Efeito da microestrutura e da translucidez da zircónia. Discos de 3Y-TZP toleram jateamento a 0,25 MPa sem perda significativa de resistência, enquanto zircónias 4Y- e 5Y-PSZ, mais translúcidas, perdem até 30 % da resistência flexural nas mesmas condições (AlMutairi et al., 2022). A literatura recomenda, para estas últimas, pressões $\leq 0,20$ MPa e a utilização de partículas finas ($< 30 \mu\text{m}$) para evitar micro-trincas sub-superficiais que comprometam a integridade estrutural (Kim et al., 2021).

Tratamentos de superfície emergentes. Métodos como o plasma não térmico, a fluoração selectiva ou a *Selective Infiltration Etching* (SIE) mostraram resistências iniciais entre 35 e 45 MPa e boa estabilidade após envelhecimento acelerado (Hallmann et al., 2016; Ruales-Carrera et al., 2019). Contudo, a evidência clínica de longo prazo permanece limitada, exigindo estudos randomizados com seguimento superior a cinco anos.

Síntese global. Os resultados apontam convergentemente para **um protocolo clínico óptimo constituído por jateamento controlado com óxido de alumínio (50 μm , $\leq 0,25$ MPa, 10 s) e cimentação com sistemas resinosos que contenham 10-MDP**. Este binómio garante adesão química e micromecânica duradoura, com valores sustentados acima de 30 MPa após envelhecimento térmico e hídrico (Comino-Garayoa et al., 2021; Kern, 2015). Nas zircónias de elevada translucidez, a redução da pressão ou do tamanho das partículas é crucial para preservar a resistência à fractura (Aung et al., 2019).

6.2 Relevância clínica e científica

Seleção criteriosa do cimento como factor prognóstico. Em preparos minimamente invasivos, pilares com paredes axiais curtas ou coroas monolíticas altamente translúcidas, os cimentos contendo 10-MDP apresentam menor incidência de descimentações, melhor vedação marginal e redução significativa da micro-infiltração em comparação com

alternativas sem promotores fosfóricos (Comino-Garayoa et al., 2021). Estes benefícios traduzem-se em menor necessidade de retratamentos, preservação de estrutura dentária e maior satisfação estética do doente a médio e longo prazo (Kern, 2015).

Padronização do protocolo de superfície. A evidência suporta um algoritmo simples e reprodutível: (i) limpeza ultrasónica, (ii) jateamento com Al_2O_3 50 μm a 0,20–0,25 MPa durante dez segundos a dez milímetros de distância, e (iii) aplicação de *primer* rico em 10-MDP ou cimentação directa com cimento dual-cure 10-MDP (Tostes et al., 2017; Aung et al., 2019). Este procedimento fornece o equilíbrio ideal entre energia superficial, micro-retenção e preservação da resistência flexural. Para zircónias 4Y/5Y, a redução da pressão ou a diminuição do tempo de abrasão previnem micro-trincas que, de outro modo, comprometeriam a resistência à fractura (Kim et al., 2021).

Contributos científicos da presente revisão. O presente trabalho reforça o papel dominante da interacção química fosfato-óxido na durabilidade da união resina/zircónia, demonstrando que estratégias exclusivamente baseadas em rugosidade superficial são insuficientes a longo prazo (Kern, 2015). Além disso, evidencia a necessidade de ajustar a agressividade do jateamento em função da fase cristalina da zircónia, aspecto frequentemente negligenciado em protocolos generalistas (AlMutairi et al., 2022).

Recomendações para investigação futura. Persistem lacunas relativamente ao desempenho a longo prazo de cimentos auto-adesivos de nova geração enriquecidos com ácidos carboxílicos modificados, bem como à compatibilidade de tratamentos emergentes (plasma, laser, fluoretação) com zircónias altamente translúcidas (Hallmann et al., 2016; Kim et al., 2021). A influência da coloração por infiltração e das restaurações híbridas zircónia-disilicato sobre a resistência adesiva também carece de estudo aprofundado. Assim, impõem-se ensaios clínicos randomizados, com seguimento superior a cinco anos, que comparem directamente protocolos 10-MDP-baseados com alternativas auto-adesivas, avaliando não só taxas de descimentação, mas também adaptação marginal, micro-infiltração e satisfação do doente.

Conclusão aplicada. Em síntese, **a adopção rotineira de cimentos resinosos contendo 10-MDP aliados a um jateamento controlado constitui, no estado actual do conhecimento, a estratégia mais segura e eficaz para maximizar a retenção, a vedação marginal e a longevidade das coroas de zircónia** (Comino-Garayoa et al., 2021). Esta abordagem está alinhada com o paradigma contemporâneo de restaurações adesivas minimamente invasivas, esteticamente agradáveis e funcionalmente previsíveis, satisfazendo as exigências modernas da Medicina Dentária restauradora

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboushelib, M. N., Kleverlaan, C. J., & Feilzer, A. J. (2007). Selective infiltration etching technique for a strong and durable bond of resin cements to zirconia-based materials. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 98(5), 379–388. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(07\)60135-4](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(07)60135-4)
- Ahn, J.-S., Yi, Y.-A., Lee, Y., & Seo, D.-G. (2015). Shear bond strength of MDP-containing self-adhesive resin cement and Y-TZP ceramics: Effect of phosphate monomer-containing primers. *BioMed Research International*, 2015, 389234. <https://doi.org/10.1155/2015/389234>
- Al-Amari, A. S., Saleh, M. S., Albadah, A. A., Almousa, A. A., Mahjoub, W. K., Al-Otaibi, R. M., ... Akbar, L. F. (2024). A comprehensive review of techniques for enhancing zirconia bond strength: Current approaches and emerging innovations. *Cureus*, 16(10), e70893. <https://doi.org/10.7759/cureus.70893>
- AlMutairi, R., AlNahedh, H., Maawadh, A., & Elhejazi, A. (2022). Effects of different air particle abrasion protocols on the biaxial flexural strength and fractography of high/ultra-translucent zirconia. *Materials*, 15(1), 244. <https://doi.org/10.3390/ma15010244>
- Amaral, R., Ozcan, M., Bottino, M. A., & Valandro, L. F. (2006). Microtensile bond strength of a resin cement to glass-infiltrated zirconia-reinforced ceramic: The effect of surface conditioning. *Dental Materials*, 22(3), 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.03.008>
- Batista, A., Palacios, N., & Ricardo, A. (2024). Zirconia cementation: A systematic review of the most currently used protocols. *The Open Dentistry Journal*, 18, e18742106300869. <http://dx.doi.org/10.2174/0118742106300869240621074459>
- Lobo, C. M. M., Cavalcanti Sacorague, S. C. M., da Silva, N. R., Costa, A. K. F., Alves, L. M. M., Bottino, M. A., Özcan, M., de Assunção e Souza, R. O., & de Melo, R. M. (2020). Effect of glazing application side and mechanical cycling on the biaxial flexural strength and Weibull characteristics of a Y-TZP ceramic. *Journal of Applied Oral Science*, 28, e20200438. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2020-0438>
- Blatz, M. B., Phark, J.-H., Ozer, F., & Sadan, A. (2004). In vitro evaluation of shear bond strengths of resin to densely-sintered high-purity zirconium-oxide ceramic after long-term storage and thermal cycling. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 93(4), 329–334. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2004.02.001>
- BrightDent. (2024). Clinical outcome of prefabricated zirconia crowns cemented with self-adhesive resin cement: 24-month results. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 34(2), 145–152. <https://doi.org/10.1002/ijpd.5467>
- Christensen, G. J. (2024, October 16). Successful cementing of zirconia crowns: Still a problem. *Dental Economics*. <https://www.dentaleconomics.com/>

Comino-Garayoa, R., Peláez, J., Tobar, C., Rodríguez, V., & Suárez, M. J. (2021). Adhesion to zirconia: A systematic review of surface pretreatments and resin cements. *Materials*, *14*(11), 2751. <https://doi.org/10.3390/ma14112751>

D'Alessandro, C., Josic, U., Mazzitelli, C., Maravic, T., Graham, L., Barausse, C., ... Breschi, L. (2024). Is zirconia surface etching a viable alternative to airborne particle abrasion? A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Journal of Dentistry*, *151*, 105394. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105394>

Dandy. (2023). *Zirconia crown cementation*. <https://www.meetdandy.com/learning-center/articles/zirconia-crown-cementation/>

de Oliveira Melo, J. M. F., de Carvalho Farias Vajgel, B. C. D., Guerra, C. M. F., Siqueira, E. C. C., & Galindo, R. C. (2020). Zirconia surface treatment for cementation: A literature review. *Brazilian Journal of Development*, *6*(11), 86383–86399. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-165>

Dantas da Silva, B. C. (2023). *Efeito de diferentes tratamentos de superfície e da cimentação adesiva na característica de Weibull, topografia de superfície e resistência à flexão de zircônias monolíticas translúcida e ultratranslúcida*[Undergraduate thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte]. Repositório Institucional UFRN. <https://repositorio.ufrn.br/items/a4095913-42ad-45f8-b1ee-f968b5b1907b>

Della Bona, A., Anusavice, K. J., & Hood, J. A. A. (2002). Effect of ceramic surface treatment on tensile bond strength to a resin cement. *International Journal of Prosthodontics*, *15*(3), 248–253. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12066487/>

Della Bona, A., & Anusavice, K. J. (2007). [Título do artigo]. *Dental Materials*, *23*(4), 440–446. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.12.003>

Dias de Souza, G. M., Silva, N. R. F. A., Paulillo, L. A. M. S., ... (2010). Bond strength to high-crystalline content zirconia after different surface treatments. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, *93*(2), 318–323. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.31586>

Erdem, A., Akar, G. C., & Kose, T. (2014). Effects of different surface treatments on bond strength between resin cements and zirconia ceramics. *Operative Dentistry*, *39*(3), E118–E127. <https://doi.org/10.2341/12-420-L>

Falahchai, M., Neshandar Asli, H., Daneshvar, M., & Hendi, A. (2024). Effect of different surface treatments on retention and fracture strength of zirconia crowns over Ti-base zirconia abutments. *Heliyon*, *10*, e40164. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40164>

Falahchai, M., Neshandar Asli, H., Faghani, M., & Hendi, A. (2024). Effect of different surface treatments on shear bond strength of zirconia with various yttria contents. *BMC Oral Health*, *24*, 1520. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05348-6>

- Ferrari, M., Vichi, A., Zarone, F., & Cavalcanti, R. (2009). Surface roughness of zirconia after different treatments. *Journal of Dentistry*, 37(11), 891–897. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.07.007>
- Franza, A., Winkler, O., Lettner, S., Öppinger, S., Hauser, A., Haidar, M., Moritz, A., Watts, D. C., & Schedle, A. (2021). Optimizing the fitting-surface preparation of zirconia restorations for bonding to dentin. *Dental Materials*, 37(2), 464–476. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.12.001>
- Gomes, E. (2022). *Adesão da zircônia com tratamento de superfície mecânico e adesivos com base de 10-MDP* [Master's dissertation, Instituto Universitário de Ciências da Saúde (CESPU)]. Repositório CESPU. https://repositorio.cespu.pt/bitstream/handle/20.500.11816/4022/MIMD_DISSERT_26335_ElodieGomes.pdf
- Hallmann, L., Ulmer, P., Wille, S., Polonskyi, O., Köbel, S., Trottenberg, T., ... Kern, M. (2016). Effect of surface treatments on the properties and morphological change of dental zirconia. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(3), 341–349. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.07.017>
- Heffernan, M. J., Aquilino, S. A., Diaz-Arnold, A. M., Haselton, D. R., Stanford, C. M., & Vargas, M. A. (2002). Relative translucency of six all-ceramic systems. Part II: Core and veneer materials. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 88(1), 10–15. <https://doi.org/10.1067/mpr.2002.126788>
- Hergeröder, C., Wille, S., & Kern, M. (2022). Comparison of testing designs for flexural strength of 3Y-TZP and 5Y-PSZ considering different surface treatment. *Materials*, 15(13), 3915. <https://doi.org/10.3390/ma15113915>
- Hoffmann, M., Mayinger, F., & Stawarczyk, B. (2024). Influence of different surface finishing procedures of strength-gradient multilayered zirconia crowns on two-body wear and fracture load: Lithium silicate or leucite glazing versus polishing? *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 150, 106307. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.106307>
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 6872:2015 Dentistry — Ceramic materials*. ISO.
- Kern, M. (2015). Bonding to oxide ceramics—Laboratory testing versus clinical outcome. *Dental Materials*, 31(1), 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.06.006>
- Kern, M., & Wegner, S. M. (1998). Bonding to zirconia ceramic: Adhesion methods and durability. *Dental Materials*, 14(1), 64–71. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(98\)00010-1](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(98)00010-1)
- Kim, J.-E., Kwon, Y.-C., Kim, S., Park, Y.-B., Shim, J.-S., & Moon, H.-S. (2021). Effect of acid mixtures on surface properties and biaxial flexural strength of as-sintered and air-abraded zirconia. *Materials*, 14(9), 2359. <https://doi.org/10.3390/ma14092359>

Kuraray Noritake Dental. (2024). *Master zirconia bonding: A guide for lasting restorations*. <https://www.kuraraynoritake.eu/uk/newsroom/a-guide-to-successful-zirconia-bonding>

Kwon, S.-M., Min, B. K., Kim, Y.-K., & Kwon, T.-Y. (2020). Influence of sandblasting particle size and pressure on resin bonding durability to zirconia: A residual stress study. *Materials*, 13(24), 5629. <https://doi.org/10.3390/ma13245629>

Lima, R. B. W., Silva, A. F., de Oliveira da Rosa, W. L., Piva, E., Duarte, R. M., & De Souza, G. M. (2023). Bonding efficacy of universal resin adhesives to zirconia substrates: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Adhesive Dentistry*, 25(1), 51–62. <https://doi.org/10.3290/j.jad.b3868649>

Lopes, C. C. A., Rodrigues, R. B., Faria-e-Silva, A. L., Simamoto Júnior, P. C., Soares, C. J., & Novais, V. R. (2015). Degree of conversion and mechanical properties of resin cements cured through different all-ceramic systems. *Brazilian Dental Journal*, 26(5), 484–489. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201300180>

Mazaheri Tehrani, A., Nami, M., Zarbakhsh, A., Moscowchi, A., & Jalalian, E. (2025). Impact of surface pre-treatment on bond strength between cement and zirconia: A systematic review and network meta-analysis. *Journal of Prosthetic Dentistry*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.12.014>

Melo, J. M. F. de O., Farias Vajgel, B. de C., Guerra, C. M. F., Siqueira, E. C. C., & Galindo, R. C. (2020). Tratamento da superfície de zircónia para cimentação: Uma revisão da literatura. *Brazilian Journal of Development*, 6(11), 86383–86399. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-165>

Mudado, F. A. (2012). *Cimentação adesiva de cerâmicas à base de zircónia* [Monografia de Especialização, Universidade Federal de Minas Gerais].

Piñal, M. D., Lopez Suárez, C., Bartolomé, J. F., Volpato, C. A. M., & Suárez, M. J. (2020). Effect of cementation and aging on the marginal fit of veneered and monolithic zirconia and metal-ceramic CAD/CAM crowns. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 125(3), 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.06.036>

Piwowarczyk, A., & Lauer, H.-C. (2007). Mechanical properties of luting cements after water storage. *Operative Dentistry*, 32(5), 512–520. <https://doi.org/10.2341/06-104>

Ruales-Carrera, E., Cesar, P. F., Henriques, B., Fredel, M. C., & Özcan, M. (2019). Adhesion behaviour of conventional and high-translucent zirconia: Effect of surface conditioning methods and ageing. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 31(4), 388–397. <https://doi.org/10.1111/jerd.12473>

Silveira, M. P. M., Ramos, N. d. C., Lopes, G. d. R. S., Tribst, J. P. M., & Bottino, M. A. (2022). Bond strength between different zirconia-based ceramics and resin cement before and after aging. *Coatings*, 12(16), 1601. <https://doi.org/10.3390/coatings12101601>

Tanaka, R., Fujishima, A., Shibata, Y., Manabe, A., & Miyazaki, T. (2008). Cooperation of phosphate monomer and silica modification on zirconia. *Journal of Dental Research*, 87(7), 666–670. <https://doi.org/10.1177/154405910808700709>

Thompson, J. Y., Stoner, B. R., Piascik, J. R., & Smith, R. (2004). Adhesion/cementation to zirconia and other non-silicate ceramics: Where are we now? *Dental Materials*, 20(10), 970–976. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2004.06.006>

Thompson, J. Y., Stoner, B. R., Piascik, J. R., & Smith, R. (2011). Adhesion/cementation to zirconia and other non-silicate ceramics: Where are we now? *Dental Materials*, 27(1), 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.022>

Tostes, B. O., Guimarães, R. B., Noronha-Filho, J. D., Botelho, G. D. S., & Guimarães, J. G. A. (2017). Characterisation of conventional and high-translucency Y-TZP dental ceramics submitted to air abrasion. *Brazilian Dental Journal*, 28(1), 97–104. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201701173>