

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

AVALIAÇÃO DA MICROINFILTRAÇÃO EM RESTAURAÇÕES DIRETAS COM UM SISTEMA ADESIVO UNIVERSAL LOW COST

Trabalho submetido por
Eloïse Briquet
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

julho de 2024

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

AVALIAÇÃO DA MICROINFILTRAÇÃO EM RESTAURAÇÕES DIRETAS COM UM SISTEMA ADESIVO UNIVERSAL LOW COST

Trabalho submetido por
Eloïse Briquet
para a obtenção do grau de **Mestre** em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutora Inês Caldeira Fernandes

julho de 2024

" Dreams are not meant to be merely dreamt. They are there to be pursued with passion, perseverance, and the conviction that every step forward brings you closer to the realization of what your heart passionately desires."

- Eleanor Roosevelt

Agradecimentos

A Prof. Doutora Inês Caldeira Fernandes pela sua orientação e conselhos preciosos ao longo da minha tese. A sua experiência e disponibilidade contribuíram grandemente para o sucesso do meu trabalho;

A Prof. Joana Costa pela disponibilidade e ajuda que me deu ao longo da minha tese. Os seus conhecimentos e comentários foram muito úteis e contribuíram grandemente para a qualidade da minha investigação;

Ao Prof. Luís Proença pela ajuda preciosa que me deu no tratamento dos resultados. Os seus conhecimentos e conselhos foram essenciais para o progresso da minha tese;

A minha colega de laboratório, Nour, pela alegria que me proporcionou ao longo do meu trabalho e pela sua ajuda.

Aos meus pais pelo apoio incondicional que me deram ao longo da minha tese e dos meus estudos. O vosso encorajamento e paciência deram-me a força para ultrapassar os desafios e alcançar este objetivo. Obrigada por acreditado em mim e me terem permitido fazer os estudos que eu queria fazer.

A minha família, por estarem sempre presentes quando preciso de vocês e pelo vosso apoio incondicional.

Aos meus amigos, Alice, Priscille, Elise, Cha, Nour, Clara, Jean-Noël e Joey, por terem feito destes 5 anos uma fonte de muitas recordações, por me terem apoiado e por terem estado ao meu lado. Nunca esquecerei estes 5 anos ao vosso lado.

Ao Corentin e ao Paul pelo vosso apoio e ajuda durante as minhas experiências.

RESUMO

Objetivos: Avaliar *in vitro* a microinfiltração em restaurações diretas com resina composta utilizando um sistema adesivo universal *low cost*.

Materiais e métodos: Foram preparadas duas cavidades classes V de Black (uma na face vestibular e outra na face lingual), com dimensões pré-definidas e padronizadas, em 20 molares humanos hígidos extraídos há menos de 6 meses. Nas cavidades vestibulares foi aplicado o sistema adesivo Scotchbond Universal®, constituindo o grupo controle, e nas cavidades linguais, o sistema adesivo *low cost* Maxima Natural Elegance 7 Universal®. Em seguida, as cavidades foram restauradas com um único incremento de resina composta microhíbrida e polidas com discos e borrachas de polimento. Os dentes foram aleatoriamente divididos em dois grupos ($n = 10$), metade armazenados em água destilada na estufa a 37 °C durante 24 h e a outra metade submetidos a 500 ciclos de termociclagem. Após este período, os ápices foram selados com resina composta e foram aplicadas 2 camadas de verniz em todas as superfícies dentárias para posterior imersão numa solução de fucsina básica a 0,5 % durante 24 h. Posteriormente as amostras foram cortadas longitudinalmente no centro da restauração no sentido vestibulo-lingual no micrótomo de tecidos duros e a microinfiltração marginal foi quantificada de acordo com as normas ISO 11405. Os dados foram analisados com *Mann-Whitney* com um nível de significância de 5 %.

Resultados: Não se verificaram diferenças estatisticamente significativas na microinfiltração entre os dois adesivos ($p = 0,121$). No entanto, em ambos, verificou-se uma maior microinfiltração ($p < 0,05$) para o grupo submetido a termociclagem.

Conclusões: A microinfiltração das restaurações diretas foi semelhante para ambos os sistemas adesivos universais e aumentou com o envelhecimento térmico.

Palavras-chave: restaurações diretas, adesão, sistemas adesivos universais, microinfiltração, classe V.

ABSTRACT

Objective: To evaluate microleakage in direct composite restorations using a low-cost universal adhesive system.

Materials and methods: Two Black's class V cavities were prepared (one on the buccal side and one on the lingual side), with predefined and standardized dimensions, in 20 healthy human molars extracted less than 6 months previously. The Scotchbond Universal[®] adhesive system was applied to the buccal cavities, constituting the control group, and the low-cost Maxima Natural Elegance 7 Universal[®] adhesive system was applied to the lingual cavities. The cavities were then restored with a single increment of microhybrid composite resin and polished with polishing disks and rubbers. The teeth were randomly divided into two groups ($n = 10$), half stored in distilled water in an oven at 37 °C for 24 h and the other half subjected to 500 thermocycling cycles. After this period, the apices were sealed with composite resin and 2 layers of varnish were applied to all tooth surfaces for subsequent immersion in a 0.5% basic fuchsin solution for 24 h. The samples were then cut longitudinally in the center of the restoration in the buccal-lingual direction using a hard tissue microtome and marginal microleakage was quantified according to ISO 11405 standards. Data were analyzed using *Mann-Whitney* with a significance level of 5%.

Results: There were no statistically significant differences in microleakage between the two adhesives ($p = 0.121$). However, in both groups, there was greater microleakage ($p < 0.05$) for the thermocycled group.

Conclusions: The microleakage of direct restorations was similar for both universal adhesive systems and increased with thermal ageing.

Keywords: direct restorations, adhesion, universal adhesive systems, microleakage, Class V.

RÉSUMÉ

Objectifs: Évaluer *in vitro* les microfuites dans les restaurations directes en résine composite à l'aide d'un système adhésif universel *low cost*.

Matériaux et méthodes: Deux cavités de Black classe V ont été préparées (une sur le côté buccal et une sur le côté lingual), avec des dimensions prédéfinies et standardisées, sur 20 molaires humaines saines extraites moins de 6 mois auparavant. Le système adhésif Scotchbond Universal[®] a été appliqué aux cavités buccales, constituant le groupe contrôle, et le système adhésif *low cost* Maxima Natural Elegance 7 Universal[®] a été appliqué aux cavités linguales. Les cavités ont ensuite été restaurées avec un seul incrément de résine composite microhybride et polies avec des disques de polissage et des caoutchoucs. Les dents ont été divisées au hasard en deux groupes ($n = 10$), la moitié conservée dans de l'eau distillée dans un four à 37 °C pendant 24 h et l'autre moitié soumise à 500 cycles de thermocyclage. Après cette période, les apex ont été scellés avec une résine composite et deux couches de vernis ont été appliquées sur toutes les surfaces dentaires pour une immersion ultérieure dans une solution de fuchsine basique à 0,5 % pendant 24 h. Les échantillons ont ensuite été coupés longitudinalement au centre de la restauration dans le sens bucco-lingual à l'aide d'un microtome pour tissus durs et la microfuite marginale a été quantifiée conformément aux normes ISO 11405. Les données ont été analysées à l'aide de la méthode de *Mann-Whitney* avec un niveau de signification de 5 %.

Résultats: Il n'y a pas eu de différences statistiquement significatives entre les deux adhésifs en ce qui concerne la microinfiltration ($p = 0,121$). Cependant, les deux adhésifs ont montré une plus grande microinfiltration ($p < 0,05$) dans le groupe thermocyclé.

Conclusions: La microinfiltration des restaurations directes étaient similaires pour les deux systèmes d'adhésifs universels et augmentaient avec le vieillissement thermique.

Mots-clés: restaurations directes, adhésion, systèmes adhésifs universels, microinfiltration, Classe V.

ÍNDICE GERAL

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contexto do estudo.....	15
1.1.1	Introdução à Dentisteria Restauradora	15
1.1.2	A adesão.....	16
1.2	A evolução dos adesivos dentários e o aparecimento de sistemas adesivos universais	17
1.2.1	Uma breve história dos sistemas adesivos dentários.....	17
1.2.2	Classificação dos sistemas adesivos.....	19
1.2.2.1	Sistema Etch-and-Rinse.....	20
1.2.2.2	Sistema Self-Etch	21
1.2.3	Os desafios dos sistemas adesivos convencionais	21
1.2.4	Os sistemas adesivos universais.....	23
1.2.4.1	Introdução aos sistemas adesivos universais	23
1.2.4.2	Composição e características dos sistemas adesivos universais	24
1.2.4.3	Mecanismo de adesão	28
1.2.4.4	Desafios e perspectivas futuras	29
1.3	Microinfiltração marginal	31
1.3.1	Conceito da microinfiltração	31
1.3.2	Factores envolvidos na microinfiltração	32
1.3.3	Redução da microinfiltração	33
1.3.4	Avaliação da microinfiltração	34
1.3.5	Termociclagem.....	35
2	OBJECTIVOS	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1	Materiais.....	39
3.2	Métodos	41
3.2.1	Microinfiltração	41
3.2.1.1	Recolha e armazenamento dos dentes	41
3.2.1.2	Preparação das cavidades.....	41
3.2.1.3	Grupos Experimentais	43
3.2.1.4	Colocação da Resina Composta	45
3.2.1.5	Envelhecimento	46
3.2.2	Microinfiltração marginal.....	47
3.2.3	Corte dos Dentes	47
3.2.4	Análise Estatística	49
3.2.5	Diagrama experimental	49
4	RESULTADOS	51
4.1	Análise estatística inferencial – Teste de <i>Mann-Whitney</i>.....	54
4.1.1	Análise de resultados da microinfiltração marginal em restaurações diretas com dois sistemas adesivos universais	54
4.1.2	Análise de resultados da microinfiltração marginal em restaurações diretas com 2 sistemas adesivos universais, em função da utilização do termociclador ou da estufa	55
5	DISCUSSÃO	57

6	CONCLUSÕES.....	63
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação atual dos sistemas adesivos em função do processo de adesão e número de passos clínicos (adaptado de Souza et al., 2010).	20
Figura 2 - Representação de um dente da amostra. a) face vestibular ; b) face distal ; c) face palatina ; d) face oclusal.	41
Figura 3 - Desenho da cavidade padronizada de classe V na face vestibular de um molar. a) desenho inicial com caneta de acetato; b) altura de 2 mm; c) largura de 6 mm.	42
Figura 4 - Execução da cavidade de classe V com a máquina de padronização. a) Posicionamento do dente na máquina; b) Posicionamento do dente na máquina no primeiro ponto para fazer uma cavidade de 1,5 mm de profundidade; c) Posicionamento do dente na máquina no segundo ponto (Manso et al., 2011).	42
Figura 5 - Cavidade de classe V padronizada com 1,5 mm de profundidade.....	43
Figura 6 - Protocolo de adesão e de restauração. a) aplicação do ácido fosfórico em <i>selective enamel etching</i> ; b) Aplicação do sistema adesivo em função da face do dente com um <i>microbrush</i> ; c) secar sem desidratar a dentina ; d) fotopolimerização durante 10 segundos..	44
Figura 7 - Restauração com resina composta da cavidade.	45
Figura 8 - Estufa Memmert INE 400 (Memmert, Alemanha).	46
Figura 9 - Termociclador (Refri 200 E, ARALAB, Parede, Portugal) utilizado.....	46
Figura 10 - Preparação externa do dente antes da imersão em fucsina básica. a) colocação de resina composta no ápice radicular ; b) superfície do dente depois aplicação de verniz incolor nas superfícies externas.	47
Figura 11 - Micrótomato de tecidos duros Accutom 50 (Struers, Ballerup, Dinamarca).....	48
Figura 12 - Observação dos cortes de dentes. a) Sem penetração do corante (score 0) ; b) Penetração do corante na parte do esmalte da cavidade (score 1) ; c) Penetração do corante na dentina da cavidade, mas não incluído a base pulpar da cavidade.....	48
Figura 13 - Diagrama sumário das fases experimentais (realizado com Biorender®).	49
Figura 14 - Gráfico representativo da microinfiltração segundo as normas ISO/TS 114205 nos diferentes grupos. CNT : grupo controlo; ALC : grupo experimental.	52
Figura 15 - Gráfico representativo da microinfiltração seguinte as normas ISO/TS 114205 no grupo CNT, com ou sem termociclagem. E = estufa 24h; TC = estufa 24h e termociclagem..	53
Figura 16 - Gráfico representativo da microinfiltração segundo as normas ISO/TS 114205 no grupo ALC, com ou sem termociclagem. E = estufa 24h; TC = estufa 24h e termociclagem..	53

Figura 17 - Gráfico representativo da microinfiltração segundo as normas ISO/TS 114205 nos dois grupos, com ou sem termociclagem. E = estufa 24h; TC = estufa 24h e termociclagem; CNT = grupo controlo; ALC = grupo experimental.....53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Sistemas adesivos universais atuais (adaptado de Perdigão, 2020).....	27
Tabela 2 - Materiais utilizados no estudo, composição e fabricante.	40
Tabela 3 - Resultados da microinfiltração nas restaurações do grupo CNT.	51
Tabela 4 - Resultados da microinfiltração nas restaurações do grupo ALC.	51
Tabela 5 - Resultados do grau de microinfiltração dos 2 grupos estudados.	52
Tabela 6 - Comparação da distribuição dos valores de microinfiltração entre os dois grupos através do teste de <i>Mann-Whitney</i> com um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).....	54
Tabela 7 - Teste de <i>Mann-Whitney</i> dos subgrupos (TC e E) do grupo CNT com um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).	55
Tabela 8 - Teste de <i>Mann-Whitney</i> dos subgrupos (TC e E) do grupo ALC com um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).	55

LISTA DE SIGLAS

- 10-MDP** – *10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate*
- 4-MET** – *4-methacryloyloxyethyl trimellitic acid*
- AIQ** – amplitude interquartil
- ALC** – experimental
- Bis-GMA** – *bisphenol A-glycidyl methacrylate*
- BPDM** – *biphenyl dimethacrylate*
- C-Factor** – factor de configuração
- CNT** – controlo
- E** – Estufa
- E&R** – *etch-and-rinse*
- GPDM** – *monomer glycerol-phosphate dimethacrylate*
- ISO** – *International Standards Organization*
- IUEM** – Instituto Universitário Egas Moniz
- MCAP** – *methacryloyloxydecyl phosphate*
- MDTP** – *methacryloyloxydecyl dihydrogen thiophosphate*
- MEV** – microscopia eletrónica de varrimento
- Micro-CT** – tomografia micro-computorizada
- MID** – medicina dentária minimamente invasiva
- MOEP** – *2-hydroxyethyl methacrylate phosphate (methacryloylethyl phosphate)*
- MTU-6** – *6-methacryloyloxyhexyl 2-thiouracil- 5-carboxylate*
- NPG-GMA** – *N-(2-hydroxy-3-methacryloxypropyl)-N-phenylglycine*
- PAC** – *polyalkenoic acid copolymer*
- PENTA** – *dipentaerythritol pentaacrylate monophosphate*
- SE** – *self-etch*
- SPSS** – *Statistical Package for the Social Sciences*
- TC** – Estufa 24 h e termociclagem

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto do estudo

1.1.1 Introdução à Dentisteria Restauradora

Os dentes são divididos em duas partes principais: a coroa e a raiz, separadas por uma linha cervical. A coroa é coberta por esmalte, segregado pelos ameloblastos derivados do epitélio. Este é o material mais resistente do nosso corpo, translúcido e constituído principalmente por hidroxiapatite mineralizada para proteger a dentina subjacente. O esmalte, que é acelular e não vital, não se regenera, mas desempenha um papel crucial na proteção do dente contra vários agressores, nomeadamente bactérias e ácidos que o podem danificar. A dentina, localizada logo abaixo do esmalte, é mais porosa e é produzida pelos odontoblastos. Contém túbulos o que torna o dente sensível. A polpa, no interior do dente, contém tecido conjuntivo frouxo, vasos e nervos. O dente é fixado ao osso alveolar pelo ligamento periodontal, constituído por tecido fibroso (Farci & Soni, 2023).

Em caso de lesão de cárie ou de traumatismo, o esmalte e a dentina da coroa dentária são os primeiros a ser afetados. As resinas compostas são utilizadas para reparar esses danos, através da mistura de três elementos-chave: uma matriz orgânica (resina ou monómero), uma carga inorgânica e um agente de união (frequentemente silano) para unir firmemente a carga à matriz orgânica (Orsini et al., 2020).

O objetivo da medicina dentária restauradora direta moderna é imitar as capacidades e qualidades funcionais de um dente autêntico. Esta abordagem faz parte do campo da medicina dentária biomimética, que se concentra na imitação de processos naturais utilizando técnicas de adesão. A partir de agora, a ênfase será colocada não só na durabilidade da reparação dentária, mas também na preservação a longo prazo do dente que foi tratado (Opdam et al., 2016).

O objetivo da dentisteria restauradora é, portanto, intervir a montante para prevenir, detetar e tratar as perturbações que afetam os dentes e os seus suportes. O objetivo é restaurar a função e a aparência dos dentes (Orsini et al., 2020).

As restaurações diretas de resina composta são uma opção popular para reparações, devido ao seu preço acessível, facilidade de aplicação e capacidade de proporcionar excelentes resultados clínicos quando corretamente aplicadas. A sua principal vantagem é a preservação da estrutura

dentária, de acordo com os princípios da moderna medicina dentária restauradora conservadora (Carpena Lopes & S Oliveira, 1995).

A escolha entre métodos directos e indirectos para a aplicação de resinas compostas em dentes posteriores é tradicionalmente baseada no tamanho da cavidade. As cavidades pequenas e médias são normalmente tratadas utilizando abordagens directas. No entanto, a eficácia e as vantagens não invasivas dos compósitos diretos para molares, o facto de poderem ser aplicados numa única consulta e o seu custo reduzido significam que estão agora a ser utilizados mesmo para preparações grandes, tornando as escolhas clínicas mais complexas (da Veiga et al., 2016).

As primeiras versões de resinas compostas apresentavam deficiências como o desgaste rápido e a contração acentuada durante a polimerização. Ao longo do tempo, foram efetuadas melhorias para ultrapassar estes problemas e aumentar a longevidade das restaurações. Estas melhorias incluem a utilização de monómeros de dimetacrilato de elevado peso molecular para reduzir a tensão de polimerização, o aumento do conteúdo mineral, a redução do tamanho das partículas, a melhoria da adesão entre a resina e as cargas, e a utilização de fotoiniciadores mais eficazes (Pizzolotto & Moraes, 2022).

Os avanços nas técnicas adesivas e nos materiais demonstraram amplamente o potencial da dentisteria de restauração direta para oferecer cuidados estéticos bem sucedidos e previsíveis, respondendo à crescente procura dos pacientes por restaurações com uma aparência natural (Orsini et al., 2020). Qualquer que seja o método utilizado, o conhecimento exato do protocolo e a aplicação meticulosa dos passos garantem uma integração bem sucedida e um prognóstico favorável.

1.1.2 A adesão

O principal objetivo da medicina dentária adesiva é criar materiais fiáveis que adiram bem ao tecido dentário, melhorando a durabilidade das restaurações. Os sistemas adesivos modernos reduzem a necessidade de uma preparação extensiva da cavidade, permitindo uma ligação eficaz entre os materiais de restauração.

No entanto, a adesão, particularmente entre a dentina e a resina, pode tornar-se instável ao longo do tempo, causando problemas como a microinfiltração marginal e a redução da retenção da restauração (Orsini et al., 2020).

A adesão é a capacidade de uma substância se ligar a outra através de mecanismos mecânicos, físicos ou químicos únicos. Os sistemas adesivos reforçam as ligações entre diferentes substratos, como o esmalte ou a dentina, e os materiais de restauração, como as resinas compostas, para garantir um contacto sólido (Vinagre & Ramos, 2016).

A qualidade desta adesão é influenciada pela capacidade do sistema adesivo para molhar o substrato, que é medida pelo ângulo de contacto criado quando uma gota de sistema adesivo se espalha contra o substrato. Além disso, a qualidade da adesão também é influenciada por vários factores, como a limpeza da preparação, para que a superfície tenha um estado de alta energia. A molhabilidade é também um fator importante e é melhorada pela rugosidade da superfície. O objetivo é também obter um bom ângulo de contacto, resistência à separação e solidificação e, finalmente, uma baixa viscosidade com fluidez adequada. (Vinagre & Ramos, 2016 ; Marshall et al., 2010).

1.2 A evolução dos adesivos dentários e o aparecimento de sistemas adesivos universais

1.2.1 Uma breve história dos sistemas adesivos dentários

Em 1951, Oskar Hagger, um químico suíço, começou a criar adesivos dentários ao patentear um material chamado "Cavity seal", que era utilizado em conjunto com a resina de cura química "Sevriton" (Sofan et al., 2017). Utilizava o monómero glicero-fosfato dimetacrilato (GPDM), que é frequentemente utilizado em alguns produtos adesivos modernos (Van Meerbeek et al., 2020). Este adesivo utiliza compostos ácidos que, ao condicionarem e interagirem à escala molecular com as superfícies dentárias, criam ligações físicas e químicas entre o material de restauração e o dente (Sofan et al., 2017).

Em 1955, o *Journal of Dental Research* publicou uma importante descoberta ao nível da adesão dentária. Michael Buonocore utilizou ácido fosfórico a 85% para alterar a superfície do esmalte, tornando-o mais recetivo à adesão mecânica. Este método, inspirado por uma técnica industrial para reforçar a adesão de tintas a metais, marcou um ponto de viragem no campo da adesão dentária (Buonocore, 1955 ; Perdigão, 2020).

O aumento da rugosidade da superfície, juntamente com uma potencial modificação química do esmalte causada pelo condicionamento ácido, resultou numa melhor ligação micromecânica, tornando o esmalte mais suscetível de reagir com a resina (Sebold et al., 2021).

No seguimento do trabalho de Buonocore, surgiu a primeira geração de sistemas adesivos. Estes continham GPDM como ingrediente ativo, que, graças ao seu grupo funcional fosfato, tinha o potencial de formar uma ligação iónica com a hidroxiapatite. No entanto, estudos recentes indicam que, embora o GPDM se ligue à hidroxiapatite, não forma uma ligação química estável. Co-monómeros de superfície ativa, como o NPG-GMA de Bowen, foram adicionados às formulações adesivas à base de GPDM. O primeiro agente de ligação à dentina disponível comercialmente foi o « Cervident », na década de 1960 (Van Meerbeek et al., 2020).

No entanto, apesar do facto de estes sistemas se destinarem a melhorar a adesão, apresentavam resistências de união relativamente baixas e um desempenho clínico deficiente devido à presença da *smear layer*. Esta última dificultava a penetração e a eficácia dos sistemas adesivos de 1ª geração, impedindo-os de interagir diretamente com o substrato dentário (Sebold et al., 2021). A *smear layer* é uma fina camada amorfa composta por colagénio degradado, dentina inorgânica, bactérias e resíduos de esmalte que se forma na superfície da dentina após a passagem de instrumentos rotativos (Alex, 2015).

Os sistemas adesivos de segunda geração não resolveram o problema da *smear layer*, aderindo nesta e não ao substrato dentinário. Nakabayashi introduziu o conceito de "camada híbrida" em 1982 e revolucionou a abordagem ao favorecer a adesão micromecânica por interbloqueio em vez da interação química. Esta mudança lançou as bases para os sistemas adesivos de terceira geração, como o Clearfil New Bond® (Kuraray Noritake Dental, Inc., Países Baixos), utilizando o condicionamento com ácido fosfórico e introduzindo o monómero funcional 10-MDP, afastando a prática dos métodos químicos directos com a dentina (Van Meerbeek et al., 2020).

A introdução de sistemas adesivos de quarta geração marcou um ponto de viragem, com o advento do condicionamento total. Esta técnica envolve a aplicação de ácido para condicionar simultaneamente o esmalte e a dentina, seguida da aplicação do *primer* e do adesivo separadamente. No entanto, a técnica de condicionamento total requer que a superfície seja mantida húmida para evitar o colapso das fibras de colagénio, uma condição delicada para avaliar clinicamente. A formação de *tags* de resina e ramos laterais de adesivo solidifica a

adesão ao substrato de dentina, selando firmemente os orifícios tubulares (Kugel & Ferrari, 2000).

No entanto, a complexidade dos procedimentos e o número de passos necessários levaram à procura de soluções mais simples. Como resultado, os sistemas adesivos de quinta e sexta geração reduziram o número de passos, combinando o *primer* e o adesivo num único frasco e introduzindo sistemas adesivos autocondicionantes que não requerem um condicionamento ácido separado (Sebold et al., 2021).

Para simplificar ainda mais este processo, os sistemas adesivos de sétima geração, introduzidos entre 1999 e 2005, combinam o condicionador, o *primer* e o adesivo num único frasco. Apesar desta simplificação, apresentam desafios de estabilidade, são mais susceptíveis à hidrólise e mais hidrofílicos depois de polimerizar, limitando a penetração da resina e criando potencialmente espaços vazios. Apesar de serem fáceis de utilizar, oferecem menores resistências de ligação e degradam-se mais rapidamente do que as gerações anteriores (Sofan et al., 2017).

O advento dos sistemas adesivos universais, ou sistemas adesivos de 8ª geração, representa a última etapa desta evolução. No mercado desde o início do século XXI, estes sistemas adesivos oferecem flexibilidade de aplicação, permitindo que os dentistas escolham entre modos de adesão utilizando *etch-and-rinse* (E&R), *self-etch* (SE) ou condicionamento selectivo do esmalte. A sua formulação foi concebida para ser compatível com todos os tipos de materiais de restauração, tornando-os numa solução completa para a maioria dos procedimentos dentários de restauração (Van Meerbeek et al., 2020).

1.2.2 Classificação dos sistemas adesivos

Tradicionalmente, os sistemas adesivos são classificados de acordo com a sua cronologia de comercialização, por “geração”. No entanto, esta classificação não é baseada em critérios científicos rigorosos, o que pode levar a confusão e a erros de interpretação. Os profissionais podem pensar erradamente que as gerações mais recentes são sempre superiores (Vinagre & Ramos, 2016).

Atualmente, é mais adequado utilizar uma classificação baseada no processo de adesão e no número de passos clínicos. Os sistemas adesivos são atualmente classificados em três categorias principais: E&R, SE e universal, com subcategorias dependendo se requerem um, dois ou três passos. Este método, desenvolvido por Van Meerbeek e os seus colegas, permite uma melhor compreensão dos vários tipos de sistemas adesivos (Figura 1) (Sebold et al., 2021).

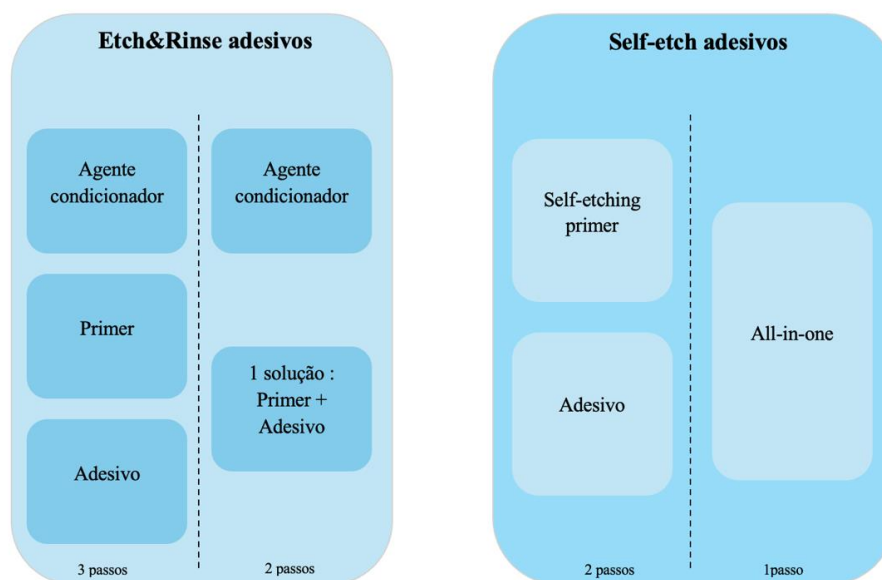


Figura 1 - Classificação atual dos sistemas adesivos em função do processo de adesão e número de passos clínicos (adaptado de Souza et al., 2010).

1.2.2.1 Sistema Etch-and-Rinse

O processo de condicionamento ácido e enxaguamento dos sistemas adesivos E&R começa com um passo de condicionamento, seguido de um enxaguamento que remove completamente a camada de *smear layer* (Sofan et al., 2017).

Os sistemas adesivos E&R dividem-se em duas categorias: sistemas adesivos E&R de dois passos e de três passos. Os sistemas adesivos E&R de dois passos são constituídos por um agente condicionador, como o ácido ortofosfórico, e uma solução hidrofílica que actua como *primer* e um adesivo. Os sistemas adesivos E&R de três passos, por outro lado, têm um *primer* diferente e um adesivo hidrofóbico separado (Perdigão et al., 2021).

O condicionamento ácido do esmalte leva à formação de macro e micro porosidades ao separar as prismas do esmalte, permitindo que os agentes de ligação, mesmo os hidrofóbicos, penetrem eficazmente por capilaridade. A polimerização de pequenos anexos de resina no esmalte

condicionado assegura uma adesão ótima ao substrato dentário graças a esta interação micromecânica. No entanto, a composição da dentina torna a adesão à dentina mais difícil, tornando este método particularmente sensível. Além disso, a dentina é desmineralizada por condicionamento ácido a uma profundidade de 3-5 micrómetros, revelando uma matriz de fibrilas de colagénio quase desprovida de hidroxiapatite (Sofan et al., 2017).

1.2.2.2 Sistema Self-Etch

Os sistemas adesivos autocondicionantes baseados em *primer* ácidos revolucionaram a adesão dentária nos anos 90, eliminando a necessidade de um passo de condicionamento separado. A utilização destes sistemas adesivos permite que os resíduos de desmineralização sejam integrados na interface de ligação, simplificando o processo através da redução do número de passos operatórios e da redução da sensibilidade técnica. A camada de *smear layer* não é completamente removida, o que reduz a re-hidratação da superfície e a sensibilidade. Apesar da sua capacidade de desmineralização e infiltração simultâneas, estes sistemas garantem, teoricamente, uma cobertura adesiva completa. No entanto, a investigação tem revelado a existência de *nanoleaks*, sugerindo que a infiltração nem sempre é perfeita (Vinagre & Ramos, 2016).

Atualmente, os sistemas adesivos autocondicionantes são classificados em duas categorias: de um passo e de dois passos. Os sistemas adesivos de dois passos são constituídos por um *primer* que aplica uma camada de condicionamento ao substrato dentário, seguido de um agente de união hidrofóbico. Numa única solução, os sistemas adesivos de um passo combinam um condicionamento, preparação e ligação, utilizando diferentes tipos de monómeros e solventes (Giannini et al., 2015).

1.2.3 Os desafios dos sistemas adesivos convencionais

O maior desafio para os sistemas adesivos dentários é conseguir aderir simultaneamente a dois substratos dentários diferentes. O esmalte, com a sua estrutura mineralizada, permite uma adesão fiável graças aos *resin tags* que se encaixam nas suas microporosidades gravadas com ácido, selando eficazmente as margens da restauração. No entanto, a adesão à dentina, que é orgânica e húmida, é muito mais complexa. Esta complexidade reside na natureza da dentina, que dificulta a obtenção de uma adesão eficaz e duradoura (Perdigão, 2020).

As superfícies de esmalte condicionadas com ácido fosfórico mostraram uma adesão muito fiável e previsível a longo prazo, enquanto a adesão na dentina é muito mais problemática. Este facto pode ser explicado pelas disparidades morfológicas, histológicas e de composição entre a dentina e o esmalte. A dentina é um substrato que evolui e se altera consoante a sua profundidade (superficial, média ou profunda), a idade do dente e o historial de traumatismos ou patologias. O esmalte, por outro lado, tem uma textura mais homogénea e mineral (Alex, 2015).

Em termos de esmalte, os estudos morfológicos mostraram que, quando se utiliza ácido ortofosfórico, obtém-se um padrão de condicionamento uniforme. No entanto, se for utilizado um sistema adesivo auto-condicionante ou nenhum ácido, a adesão será menos eficaz (Kugel & Ferrari, 2000). O *primer* ácido nos sistemas auto-condicionantes não é tão ácido como o ácido ortofosfórico. Por conseguinte, não irá condicionar o esmalte à mesma profundidade que o ácido fosfórico. De facto, alguns sistemas SE demonstraram infiltração nas margens do esmalte após 1 ano (Perdigão, 2020).

O efeito dos sistemas auto-condicionantes no esmalte é, portanto, insatisfatório. Estes sistemas provocam uma micro-retenção insuficiente para a formação de *resin tags*. O esmalte requer, portanto, a aplicação de ácido ortofosfórico, ou seja, o sistema E&R. Atualmente, a aplicação de ácido ortofosfórico no *Selective Enamel Etching* é recomendada e frequentemente utilizada (Van Meerbeek et al., 2020).

Em termos de dentina, quando se utiliza o sistema E&R, um dos desafios que encontramos é a humidade da dentina. Se a dentina condicionada estiver demasiado seca, as fibras de colagénio colapsam e isto reduz a força de ligação porque restringe a difusão dos monómeros ácidos através da dentina intertubular (Sofan et al., 2017). Por conseguinte, precisamos de dentina húmida, o que é um fator complicado de controlar e depende do operador (Chen et al., 2015).

Além disso, o excesso de condicionamento ácido pode impedir a penetração efectiva dos monómeros de resina nos túbulos dentinários e através da matriz de colagénio desmineralizada hidratada, resultando em áreas não impregnadas. Isto leva a infiltrações microscópicas e nanoscópicas, hidrólise do colagénio e deterioração periódica da interface (Sofan et al., 2017).

Embora os sistemas adesivos autocondicionantes não necessitem de ser colados à dentina húmida e sejam menos sensíveis à técnica, contêm invariavelmente água para a ionização dos monómeros ácidos da resina. Infiltram-se nas zonas que desmineralizam e as zonas ricas em água persistem, provocando nanofissuras na camada híbrida. Esta fina camada híbrida pode ter um rácio superfície/volume de nanoinfiltração mais elevado do que os sistemas adesivos E&R. As nanoinfiltrações aumentam a permeabilidade das interfaces resina-dentina, particularmente no caso dos sistemas adesivos auto-condicionantes simplificados (Chen et al., 2015).

Todos estes desafios dos sistemas adesivos SE e E&R levaram à criação de sistemas adesivos universais, que são menos sensíveis à utilização. Além disso, os dentistas tendem a escolher os materiais mais fáceis de utilizar, como o sistema SE de 1 passo e o sistema E&R de 2 passos, que têm um desempenho clínico inferior, daí o interesse em sistemas universais, que são mais fáceis de utilizar do que o E&R de 3 passos, e que têm um bom desempenho clínico (Perdigão et al., 2021).

1.2.4 Os sistemas adesivos universais

1.2.4.1 Introdução aos sistemas adesivos universais

Os sistemas adesivos universais, uma classe relativamente recente de sistemas adesivos em medicina dentária, têm recebido particular atenção devido à crescente procura de sistemas adesivos simplificados e menos sensíveis ao uso (Nagarkar et al., 2019). Esses sistemas adesivos são feitos para oferecer versatilidade e facilidade de uso, com o objetivo de facilitar o processo de adesão em diversas aplicações na medicina dentária. A recente categoria de sistemas adesivos universais multimodo permite a adesão aos dentes utilizando o método E&R ou SE, tudo a partir de um único frasco de adesivo. De acordo com os fabricantes, a eficácia da adesão mantém-se elevada, independentemente da técnica utilizada. Estes sistemas adesivos universais foram desenvolvidos através da adaptação de sistemas adesivos SE de frasco único para se adequarem a uma gama mais vasta de aplicações, tornando-os uma opção versátil para os médicos dentistas (Chen et al., 2015).

Uma das principais características dos sistemas adesivos universais é a sua capacidade de modificar as características interfaciais duma vasta gama de substratos, criando uma superfície homogénea para a adesão. No entanto, a durabilidade da adesão de sistemas adesivos universais

em diferentes superfícies pode variar consoante o tipo de substrato e o adesivo específico utilizado (Tsujiimoto et al., 2017). Esta variabilidade realça a importância de considerar o material do substrato ao selecionar um sistema adesivo universal (Sofan et al., 2017).

Apesar do desejo dos clínicos por sistemas adesivos menos complicados e mais versáteis, ainda não foi encontrado um equilíbrio entre a simplificação e a obtenção de resultados clínicos óptimos (Perdigão, 2020).

Compreender a composição e as características dos sistemas adesivos universais é essencial para que os médicos dentistas possam tomar decisões informadas sobre a sua utilização em diferentes procedimentos restauradores e adesivos.

1.2.4.2 Composição e características dos sistemas adesivos universais

Os sistemas adesivos dentários ideais devem oferecer um ajuste perfeito e uma selagem marginal para uma adesão fiável, resistir às forças mastigatórias, e ter uma baixa absorção de água e solubilidade para uma durabilidade a longo prazo. Devem também ser compatíveis com os tecidos dentários e possuir propriedades bioativas para evitar a formação de biofilme e encorajar a remineralização. Os sistemas adesivos, quer sejam E&R, SE ou universais, partilham uma composição semelhante, embora a proporção dos componentes possa variar de um tipo para outro, incluindo monómeros hidrofílicos que se ligam a componentes orgânicos e hidrofóbicos que melhoram a adesão às resinas compostas, solventes, iniciadores e, por vezes, partículas de carga (Dressano et al., 2020).

A composição dos sistemas adesivos universais inclui tipicamente metacrilatos, ácidos polimetacrílicos, bisfenol A-glicidil metacrilato e outros componentes normalmente encontrados nos sistemas adesivos dentários (Chen et al., 2015).

Embora existam muitas semelhanças entre os sistemas adesivos, um dos principais componentes chave dos sistemas adesivos universais é a presença de monómeros funcionais de fosfato e/ou carboxilato, que os distinguem dos tradicionais sistemas adesivos autocondicionantes de um passo. Estes monómeros são essenciais para criar ligações químicas e micromecânicas com os substratos dentários, melhorando assim as propriedades adesivas dos sistemas adesivos universais (Sofan et al., 2017).

Por exemplo, a inclusão de 10-MDP (10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate) na composição de sistemas adesivos universais confere um carácter ácido ao adesivo, permitindo que a desmineralização e a infiltração do monómero durante o processo adesivo ocorram simultaneamente. Este monómero fosfatado é conhecido pela sua capacidade de interagir quimicamente com os minerais dentários, melhorando a estabilidade a longo prazo da adesão formada (Isolan et al., 2014).

De facto, liga-se ionicamente à dentina formando sais de cálcio hidroliticamente estáveis sobre a hidroxiapatite sobre a forma de nanocamadas. Esta adesão química promovida pelo 10-MDP será mais eficaz e mais estável em água do que a promovida por outros monómeros (Nagarkar et al., 2019). Foi demonstrado que à medida que a concentração de monómero de 10-MDP aumenta, a força de ligação adesiva aumenta (Triani et al., 2022) .

Além disso, a presença de componentes como o bifenil dimetacrilato (BPDM) ou a presença de um copolímero de ácido polialquenóico (PAC) em certos sistemas adesivos universais permite uma adesão satisfatória à dentina em condições de humidade variáveis, melhorando assim a adesão às estruturas dentárias. A sua formulação inclui monómeros de diferentes naturezas (hidrofílicos, hidrofóbicos) que permitem a criação de uma ligação entre substratos dentários hidrofílicos e resinas compostas hidrofóbicas, mesmo em condições de superfície variáveis. Alguns sistemas adesivos universais também podem incluir silano, eliminando a necessidade de um passo de silanização quando se ligam a cerâmicas de vidro ou resina composta (Sofan et al., 2017).

Embora a composição química dos sistemas adesivos universais varie de produto para produto, a combinação ideal de componentes adesivos, pH e concentração de monómeros chave, como o MDP, é crucial para conseguir uma adesão eficaz e duradoura aos substratos dentários. Estes factores, que diferem de fabricante para fabricante, podem por vezes trazer vantagens específicas a alguns produtos em relação a outros (Perdigão, 2020 ; Alex, 2015).

Os sistemas adesivos universais têm propriedades físico-químicas únicas que os diferenciam de outros sistemas adesivos em medicina dentária. Estas propriedades, incluindo o pH, a viscosidade e a compatibilidade com a água, são cruciais para o desempenho ao nível da adesão e aplicabilidade clínica (Nagarkar et al., 2019).

O pH dos sistemas adesivos universais é cuidadosamente equilibrado para melhorar a adesão, minimizando a sensibilidade pós-operatória e assegurando a compatibilidade com o tecido dentário (Nagarkar et al., 2019).

Pensa-se que o pH dos sistemas adesivos universais pode influenciar a sua capacidade de ligação à dentina. Por conseguinte, a utilização de um sistema adesivo universal com um pH mais baixo pode ajudar a manter a força da ligação a longo prazo (Josic et al., 2022).

Em geral, o pH dos sistemas adesivos universais actuais varia entre cerca de 2,2 e 3,2, dependendo do produto. Estes sistemas adesivos são geralmente considerados “suaves” ($\text{pH} > 2$) ou “extra-suaves” ($\text{pH} > 2,5$). Este nível de pH, pode ser extremamente eficaz na ligação à dentina. No entanto, pode ser menos eficaz na adesão ao esmalte, particularmente ao esmalte não preparado (Alex, 2015).

A viscosidade é uma outra propriedade físico-química fundamental dos sistemas adesivos universais que influencia o seu manuseamento e facilidade de aplicação. Estes sistemas adesivos são formulados com viscosidade moderada para permitir uma fácil aplicação e penetração na microestrutura da superfície dentária, garantindo assim uma ligação forte (Perdigão, 2020). Para além disso, a viscosidade tem impacto na capacidade do sistema adesivo resistir às forças mastigatórias e às tensões durante a polimerização, aumentando assim a longevidade da união (Dressano et al., 2020).

Além disso, a compatibilidade dos sistemas adesivos universais com a água é essencial para garantir uma adesão fiável em ambientes orais húmidos. Pode ser necessário um tempo adicional de secagem do solvente para que os sistemas adesivos universais removam a água residual da interface, melhorando a longevidade e a durabilidade da ligação adesiva (Perdigão, 2020).

A Tabela 1 resume as diferentes composições e características de diversos sistemas adesivos universais (Tabela 1).

Tabela 1 – Sistemas adesivos universais atuais (adaptado de Perdigão, 2020).

	Monómeros funcionais	Solvente	pH	Silano	Ativador DC separado
All-Bond Universal (Bisco, Inc.)	MDP	Etanol, água	3.2	Não	Não
Adhese Universal (Ivoclar Vivadent)	MDP, MCAP	Etanol, água	2.8	Não	Não
Clearfil Universal Bond (Kuraray Noritake Dental, Inc.)	MDP	Etanol, água	2.3	Sim	Sim
Futurabond U (VOCO)	MDP	Etanol, água	2.3	Não	Não
G-Premio Bond (GC America Inc.)	MDP, 4-MET, MDTP	Acetona, água	1.5	Não	Sim
One Coat 7 Universal (Coltene)	MDP	Etanol, água	2.8	Não	Sim
Optibond Universal (Kerr Corp.)	GPDM	Água, acetona, etanol	2.5	Não	Não
Prime & Bond Active or Prime & Bond Universal (Dentsply Sirona)	MDP, PENTA	Água, álcool isopropílico	2.5	Não	Sim
Scotchbond Universal Adhesive or Single Bond Universal Adhesive (3M Oral Care)	MDP, PAC	Etanol, água	2.7	Sim	Sim
Scotchbond Universal Adhesive Plus (3M Oral Care)	MDP, PAC	Etanol, água	2.7	Sim	Não
Universal Bond (Tokuyama Dental America, Inc.)	MOEP, MTU-6	Água, acetona, álcool isopropílico	2.2	Sim	Não
Maxima Natural Elegance 7 Universal® (HenrySchein, Service GmbH, Langen, Germany)		Etanol, água			

MDP : 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen Phosphate ; MCAP : polímero de ácido carboxílico metacrilado ; 4-MET : 4-methacryloyloxyethyl trimellitic acid ; MDTP : methacryloyloxydecyl dihydrogen thiophosphate ; GPMD : monomer glycerophosphate dimethacrylate ; PENTA : dipentaerythritol pentaacrylate monophosphate ; PAC : polyalkenoic acid copolymer ; MOEP : 2-hydroxyethyl methacrylate phosphate (methacryloyl ethyl phosphate) ; MTU-6 : 6-methacryloyloxyhexyl 2-thiouracil- 5-carboxylate. Um "ativador DC separado" é um componente utilizado em sistemas adesivos e materiais de restauração em medicina dentária que funciona através de um mecanismo de polimerização de dupla polimerização.

1.2.4.3 Mecanismo de adesão

Os sistemas adesivos universais oferecem uma grande variedade de utilizações, tais como SE, E&R, ou uma combinação das duas técnicas para condicionamento seletivo do esmalte (Sofan et al., 2017).

Dependendo do substrato, é essencial selecionar a estratégia de adesão adequada. Por exemplo, em determinadas situações, a abordagem E&R pode ser mais adequada do que a abordagem SE, dependendo das características do substrato e dos requisitos de adesão (Nagarkar et al., 2019 ; Tsujimoto et al., 2017).

Os sistemas adesivos SE encontram desafios como a reduzida capacidade de condicionamento do esmalte e a maior hidrofiliidade, que podem levar à descoloração marginal e a uma menor durabilidade da ligação em comparação com os sistemas adesivos E&R (Sofan et al., 2017).

Numerosos estudos *in vitro* investigaram a eficácia dos sistemas adesivos universais, dependendo do substrato e do método de aplicação. Existe um consenso geral de que o condicionamento do esmalte com ácido fosfórico é recomendado para garantir a longevidade das restaurações e demonstrou aumentar a resistência de união em comparação com casos sem condicionamento do esmalte (Josic et al., 2022). De facto, a utilização de sistemas adesivos universais através da estratégia SE reduz o seu potencial para desmineralizar o esmalte devido à sua agressividade reduzida, resultando numa retenção inadequada da microporosidade. Alguns estudos mostraram, de facto, que a utilização de sistemas adesivos com a estratégia E&R dá melhores resultados em termos de adesão a longo prazo (Nagarkar et al., 2019).

No entanto, o condicionamento da dentina não demonstrou qualquer melhoria na durabilidade das restaurações com resina composta (Josic et al., 2022).

Por conseguinte, a técnica E&R melhora a força de adesão dos sistemas adesivos universais ao esmalte, mas este método não tem um efeito significativo na força de adesão à dentina. O método SE parece ser mais eficaz na melhoria da adesão dos sistemas adesivos universais à dentina, de acordo com estudos *in vitro*. Para melhorar a adesão dos sistemas adesivos universais a esta superfície, recomenda-se o condicionamento seletivo do esmalte quando se utiliza o método SE. Isto significa aplicar ácido fosfórico a uma concentração de 30-40 %

apenas nos bordos do esmalte antes de aplicar o adesivo, de modo a obter uma adesão óptima (Triani et al., 2022).

Em conclusão, é essencial seguir os procedimentos de aplicação de sistemas adesivos recomendados e seleccionar a estratégia de adesão adequada para os materiais e substratos de restauração. É preferível utilizar método E&R ao nível do esmalte, enquanto o SE de dois passos com 10-MDP é mais adequado para a dentina. Em cavidades onde o esmalte é dominante, é preferível um método E&R. O condicionamento seletivo do esmalte seguido de um adesivo SE 10-MDP em dois passos melhora a durabilidade das cavidades posteriores (Vinagre & Ramos, 2016).

1.2.4.4 Desafios e perspectivas futuras

Os sistemas adesivos universais surgiram nos últimos anos como uma nova opção ao nível da adesão, que pode ser utilizada de forma mais flexível com as estratégias E&R e SE. Os sistemas adesivos universais facilitam a adesão, mantendo uma resistência de união adequada e reduzindo o risco de sensibilidade pós-operatória. Além disso, os médicos dentistas estão cada vez mais interessados nas versões mais recentes destes adesivos universais, uma vez que oferecem uma versão simplificada dos adesivos em termos de sensibilidade técnica e tempo de aplicação clínica (Hu et al., 2023; Hardan et al., 2021).

Apesar dos avanços significativos, os adesivos continuam a enfrentar desafios que afectam o seu desempenho clínico a longo prazo. Problemas como a deterioração da adesão, a sensibilidade pós-operatória, a descoloração marginal e a durabilidade limitada da adesão continuam a ser questões preocupantes. Apesar da utilização de adesivos e de novos materiais de restauração em compósito, o tempo de vida das restaurações dentárias continua a ser insatisfatório. De acordo com estudos recentes, observou-se que a incidência de insucesso das restaurações varia entre 15% e 20% após 12 anos, sendo a cárie secundária, as fracturas e defeitos marginais, a deterioração as principais causas de insucesso (Hu et al., 2023).

Gerir a quantidade de água nos sistemas adesivos universais é um dos principais desafios que os químicos que desenvolvem estes sistemas enfrentam. Uma quantidade moderada de água é essencial, mas uma quantidade excessiva pode alterar a química do adesivo, causar a separação de fases dos monómeros, reduzir o prazo de validade e dificultar a evaporação total durante a

secagem ao ar. A presença de água residual pode levar a uma polimerização parcial, aumentar a hidrólise após a polimerização e comprometer a qualidade da interface entre os dois. Para ultrapassar estes problemas, é aconselhável incorporar etanol ou acetona nas formulações para melhorar a resistência da resina nos tecidos dentários e para facilitar a evaporação da água durante o processo de secagem (Alex, 2015).

Para resolver este problema, está a ser desenvolvida a utilização muito promissora de novos monómeros, como o metacrilato-metacrilamida, para melhorar a estabilidade hidrolítica da camada híbrida. Os estudos futuros devem centrar-se na criação de monómeros capazes de se infiltrarem eficazmente na dentina e no colagénio. Isto poderia preencher quaisquer lacunas deixadas pelo condicionamento ácido e minimizar os danos no colagénio (Dressano et al., 2020).

A adesão dos sistemas adesivos universais à dentina tem limitações em termos de estabilidade e durabilidade. De facto, estes adesivos não conseguem evitar totalmente as micro-lacunas na interface adesiva e aumentam a nanoinfiltração, devido à coexistência de componentes hidrofóbicos e hidrofílicos na sua formulação (Hardan et al., 2021).

Devido à constante evolução dos adesivos dentários, os cuidados dentários foram profundamente transformados, melhorando a restauração e a prevenção. Os avanços incluem a utilização de materiais bio-inspirados que se assemelham aos dentes naturais para facilitar a ligação na interface do esmalte, bem como a utilização de materiais bioactivos que promovem a remineralização. Além disso, as recentes formulações que utilizam nanotecnologia e monómeros adesivos estão a melhorar a resistência e a durabilidade dos adesivos (Hu et al., 2023).

No que diz respeito à adesão dentária, o futuro está centrado na procura de estratégias e moléculas para melhorar a longevidade das ligações resina-dentina, que são frequentemente susceptíveis de deterioração. É essencial utilizar materiais de restauração bioactivos para promover a formação de minerais em micro e nanoespaços. Além disso, a incorporação de compostos antibacterianos e de estratégias de remineralização nas matrizes de resina está também a ser considerada para combater a acidez dos biofilmes orais e prevenir a cárie (Vinagre & Ramos, 2016 ; Bin-Jardan et al., 2023).

A adição de agentes antimicrobianos aos adesivos universais melhora a sua capacidade de combater as bactérias e aumenta a adesão à dentina, prolongando a durabilidade das restaurações. Além disso, o desenvolvimento de adesivos com propriedades remineralizantes e antibacterianas poderia oferecer uma maior proteção contra cáries secundárias sem comprometer a qualidade dos materiais (Hardan et al., 2021; Dressano et al., 2020).

É essencial validar estas inovações através de estudos clínicos multicêntricos, a fim de verificar a sua eficácia e assegurar que as restaurações duram mais tempo (Bin-Jardan et al., 2023).

1.3 Microinfiltração marginal

1.3.1 Conceito da microinfiltração

O principal objetivo da dentisteria restauradora é remover o tecido cariado e as bactérias e, em seguida, preencher a cavidade com um material adequado. O objetivo é restaurar a estética e a função do dente. A principal característica de um material de restauração é garantir uma adesão permanente nas superfícies dentárias (Rathi et al., 2020).

O sucesso das restaurações dentárias depende do selamento das margens, uma vez que a microinfiltração pode causar descoloração, fratura e exigir reparação. Atualmente, as infiltrações são consideradas como um dos principais factores que determinam o sucesso a longo prazo das restaurações. As bactérias e os fluidos podem causar sensibilidade e subsequente levar ao aparecimento de lesões de cárie. Para além disso, ao longo do tempo, algumas restaurações podem perder a sua flexibilidade, aumentando o risco de microinfiltração e degradação da interface adesiva (Fabianelli, 2007).

A passagem de bactérias, fluidos, moléculas ou iões entre o dente e os materiais de restauração é conhecida como microinfiltração. Este fenómeno tem sido de grande interesse devido às suas muitas consequências, tais como lesões de cáries secundárias, alterações de coloração, hipersensibilidade após a restauração, danos na polpa dentária e deterioração de certos materiais de restauração (Nag et al., 1997).

1.3.2 Factores envolvidos na microinfiltração

A microinfiltração é afetada por vários factores, tais como alterações no tamanho do material de restauração causadas por contração térmica, contração de polimerização, sorção de água, bem como tensões mecânicas e variações no tamanho do próprio dente (Rathi et al., 2020).

De acordo com a definição de microinfiltração, esta resulta de contração e imperfeições na interface de união, particularmente ao nível da camada híbrida (Zhao et al., 2014).

O principal problema é a contração de polimerização das resinas compostas, que resulta em forças de contração que podem exceder a resistência de ligação às paredes da cavidade, levando a falhas marginais e microinfiltração. Além disso, a configuração da cavidade, representada pelo coeficiente C, é essencial para ajustar o material de restauração às margens. A microinfiltração é particularmente prevalente em cavidades com formas complexas, especialmente ao nível gengival das *boxes* proximais, especialmente onde o substrato é menos estável (Fabianelli, 2007 ; Rathi et al., 2020).

A formação de macromoléculas durante a fotopolimerização conduz a uma redução da matéria orgânica. A distância entre os monómeros, medida pela distância de Van Der Waals, é inicialmente de 0,3 a 0,4 nm. Durante a polimerização, formam-se ligações covalentes de 0,15 nm, reduzindo a distância entre as moléculas em 2%. A redução do tamanho do material compósito pode comprometer a integridade da interface entre a resina composta e o dente, levando à formação de lacunas. A falta de adesão pode levar a uma redução do selamento marginal e à criação de um espaço entre o dente e a restauração (Hepdeniz et al., 2016).

A orientação dos túbulos dentinários, a composição orgânica da dentina e o movimento dos fluidos internos são outros factores que contribuem para a microinfiltração. Também é importante considerar questões como a remoção parcial da *smear layer*, a infiltração ineficiente do *primer* nas fibras de colagénio e a evaporação parcial do solvente. Para além disso, as incompatibilidades entre o material compósito, o agente de ligação, os fotoiniciadores e as ferramentas utilizadas podem exacerbar o problema da microinfiltração (Rathi et al., 2020).

As forças mecânicas e térmicas, causadas por variações no coeficiente de expansão térmica entre a resina e os tecidos dentários, bem como pequenos movimentos da restauração causados

por diferenças na elasticidade dos módulos, podem quebrar a ligação mecânica e causar microinfiltração (Fabianelli, 2007).

Por fim, a presença de água e de tensões externas também pode comprometer a adesão e favorecer a microinfiltração, alterando a estabilidade da interface adesiva (Fabianelli, 2007).

1.3.3 Redução da microinfiltração

São essenciais várias considerações para reduzir a microinfiltração marginal e melhorar a adaptação da restauração. Elas incluem a seleção ou combinação apropriada de materiais, a aplicação de um forro ou base de cavidade, o ajuste dos factores de desenho e configuração da cavidade, a utilização de condicionamento ácido e adesão, o método de aplicação da restauração, a utilização de técnicas directas ou indirectas, a selagem de zonas marginais e a aplicação de diferentes métodos de polimerização (Rathi et al., 2020).

A aplicação incremental de resinas compostas é um método reconhecido para minimizar os efeitos da contração da polimerização, embora os resultados possam variar consoante a abordagem seja incremental ou em bloco. Envolve a aplicação do compósito em camadas sucessivas de menos de 2 mm. Com este método, cada camada é totalmente fotopolimerizada, compensando a contração da camada anterior (Hepdeniz et al., 2016).

A escolha de materiais, tais como compósitos de baixo módulo de elasticidade e cimentos resilientes, também desempenha um papel fundamental no alívio das tensões durante a polimerização e na melhoria da adaptação do material de restauração, particularmente em cavidades complexas. Além disso, os revestimentos flexíveis e os agentes de ligação específicos podem minimizar as tensões de contração para restaurações de classe V (Fabianelli, 2007).

Deste modo, a incorporação de propriedades antibacterianas através de materiais como os cimentos de ionómero de vidro enriquecidos com flúor oferece uma barreira adicional contra as cáries secundárias. Finalmente, o ajuste marginal preciso é fundamental, especialmente com restaurações indirectas que requerem uma adaptação meticulosa para evitar microinfiltrações. Cuidadosamente integradas, estas estratégias melhoram consideravelmente as hipóteses de sucesso a longo prazo das restaurações em resina composta (Fabianelli, 2007).

1.3.4 Avaliação da microinfiltração

Para avaliar o potencial desempenho clínico de um material restaurador, são utilizados testes de microinfiltração. De facto, estes testes são o método mais utilizado para se ter uma ideia preliminar da qualidade de um material (Gonzales et al., 1997 ; Fabianelli, 2007).

Esta avaliação pode ser efectuada através de várias técnicas, tais como o ar comprimido, as técnicas electroquímicas, a microscopia eletrónica de varrimento (MEV), a infiltração bacteriana e, sobretudo, o método de penetração do corante. Os operadores efectuam frequentemente medições subjectivas de microinfiltração utilizando escalas lineares baseadas em critérios pré-estabelecidos. No entanto, esta abordagem bidimensional (2D) não cobre toda a interface entre o dente e a restauração, restringindo-se a certas secções específicas, e mostra flutuações significativas na infiltração de corante entre diferentes partes da restauração (Zhao et al., 2014; Gonzales et al., 1997 ; Rath et al., 2020).

O método mais simples de avaliar a microinfiltração consiste em observar visualmente as restaurações sem utilizar marcadores. Este método permite identificar alterações macroscópicas na integridade marginal das restaurações. O exame tátil utilizando uma sonda exploratória ou a inspeção visual podem detetar qualquer descoloração do esmalte adjacente ou quaisquer espaços entre o dente e a restauração (Gonzales et al., 1997).

No entanto, a Organização Internacional de Normalização adoptou amplamente o método de penetração de corante, que é considerado padrão, para avaliar a adaptação marginal das restaurações (Zhao et al., 2014).

A microinfiltração em restaurações dentárias é avaliada principalmente por testes *in vitro* utilizando marcadores como o azul de metileno. Estes testes medem a penetração de corantes nas restaurações para estimar o desempenho dos materiais (Gonzales et al., 1997). Historicamente, estas técnicas evoluíram de experiências com materiais não dentários para a utilização de dentes humanos ou substitutos. Os corantes, tais como a fucsina básica em concentrações que variam entre 0,5% e 2%, e o azul de metileno, são aplicados para observar visualmente as alterações dimensionais dos materiais de restauração e quantificar a microinfiltração (Gonzales et al., 1997).

A análise microscópica, embora menos sensível do que as técnicas tridimensionais, continua a ser eficaz na identificação da forma como as manchas se difundem. O exame de várias secções do mesmo dente pode reduzir o risco de subestimar a microinfiltração. Em resumo, os métodos *in vitro* são informativos, mas é essencial compreender as suas limitações e tratar os resultados com discernimento (Fabianelli, 2007). .

Além disso, a utilização de marcadores para medir a microinfiltração é por vezes criticada por exagerar a infiltração, uma vez que as partículas do marcador são geralmente mais pequenas do que as bactérias, o que pode levar a uma avaliação errada dos espaços efetivamente acessíveis às bactérias (Fabianelli, 2007)

1.3.5 Termociclagem

A termociclagem é frequentemente utilizada para simular o envelhecimento clínico dos materiais, cujo efeito na microinfiltração difere de estudo para estudo: alguns estudos mostram um aumento da microinfiltração após o stress térmico, enquanto outros não encontram qualquer efeito significativo (Fabianelli, 2007).

Com base em cinco cobaias, verificaram que os indivíduos têm tolerâncias de temperatura que variam entre 4 °C para limiares mais baixos e 60 °C para limiares mais elevados. Estes valores são utilizados para estabelecer as temperaturas utilizadas na ciclagem térmica (Gonzales et al., 1997).

2 OBJECTIVOS

O objectivo desta investigação foi avaliar *in vitro* a microinfiltração marginal em restaurações diretas classes V de Black realizadas com um sistema adesivo universal *low cost* em comparação com restaurações com um sistema adesivo universal convencional, através das seguintes hipóteses experimentais:

H0 (hipótese nula) 1: A microfiltração marginal em restaurações diretas não é influenciada pelo tipo de sistema adesivo universal utilizado.

H1 (hipótese alternativa) 1: A microfiltração marginal em restaurações diretas é influenciada pelo tipo de sistema adesivo universal utilizado.

H0 (hipótese nula) 2: A microfiltração marginal nas restaurações diretas não é influenciada pela termociclagem.

H1 (hipótese alternativa) 2: A microfiltração marginal nas restaurações diretas é influenciada pela termociclagem.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo *in vitro* foi realizado no Laboratório de Biomateriais da Egas Moniz *School of Health & Science* (Anexo 1).

3.1 Materiais

Para a realização deste estudo foram utilizados dois sistemas adesivos: Scotchbond Universal[®] e Maxima Natural Elegance 7 Universal[®]. Foi utilizado também ácido ortofosfórico e resina composta Filtek[™] Z250. Na tabela 2 estão descritos os materiais com os respectivos fabricantes, lote, validade, composição, bem como as fotografias dos mesmos.

Tabela 2 - Materiais utilizados no estudo, composição e fabricante.

Material	Fabricante	Lote	Validade	Composição	Fotografias
Ácido ortofosfórico 37%	SCHMIDT			Gel de ácido ortofosfórico 37%	
Adesivo Scotchbond Universal® (Anexo 5)	3M ESPE, Neuss, Alemanha	8823746	04/04/2025	Monômero de fosfato de MDP, resinas de dimetacrilato, HEMA, copolímero Vitrebond™, carga, etanol, água, iniciadores, silano	
Maxima Natural Elegance 7 Universal® (Anexo 4)	HenrySchein, Service GmbH, Langen, Alemanha	M03076	06/10/2024	Metacrilatos, fotoiniciadores, etanol e água	
Resina Composta Filtek™ Z250	3M ESPE, Neuss, Alemanha	10455861	31/07/2026	Bis-GMA, UDMA, bis-EMA, partículas de carga	

3.2 Métodos

3.2.1 Microinfiltração

3.2.1.1 Recolha e armazenamento dos dentes

Este estudo foi submetido para autorização pela comissão de ética da *Egas Moniz School of Health & Science*, tendo obtido um parecer positivo (Anexo 2) .

Inicialmente foram recolhidos 20 molares definitivos e hígidos do banco de dentes da Clínica Universitária da *Egas Moniz School of Health & Science*. Os dentes tinham sido extraídos há menos de 6 meses e foram incluídos quando cumpriam os seguintes critérios: ausência de defeitos estruturais dos tecidos mineralizados, de lesões de cárie dentária, de restaurações, de fraturas e/ou de tratamento endodôntico (Figura 2).

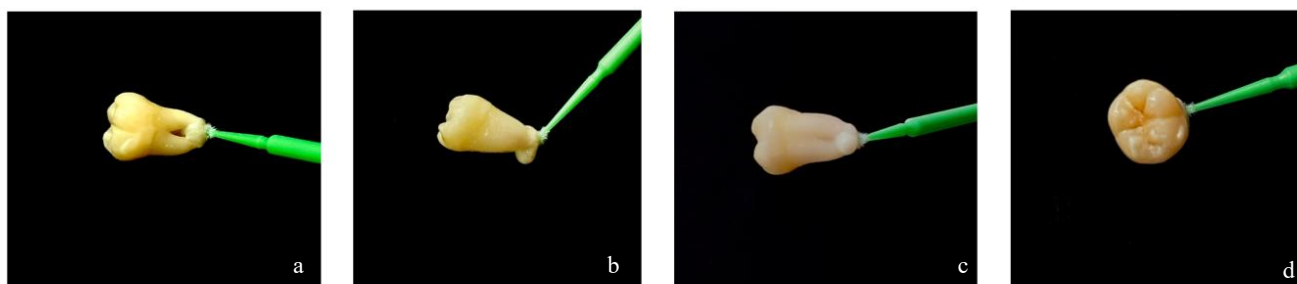


Figura 2 - Representação de um dente da amostra. a) face vestibular ; b) face distal ; c) face palatina ; d) face oclusal.

Após a extração, estes dentes foram lavados com água corrente e todos os restos de tecido e sangue foram removidos, Os dentes foram depois colocados numa solução de cloramina-T tri-hidratada a 1% (v/v) durante 7 dias, seguida do armazenamento em água destilada num frigorífico a 4°C (ISO/TS 11405: 2015).

3.2.1.2 Preparação das cavidades

Para avaliar a microinfiltração dos diferentes sistemas adesivos, foram efectuadas nos dentes duas cavidades de classe V (uma na face vestibular, outra na face lingual).

As cavidades foram inicialmente desenhadas em cada face com uma caneta de acetato com uma forma rectangular com 6mm de largura x 2mm de altura (Figura 3).

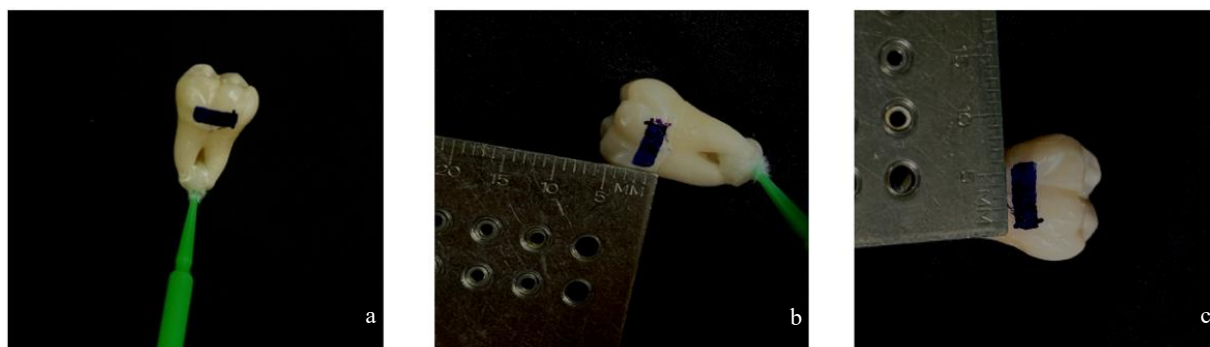


Figura 3 – Desenho da cavidade padronizada de classe V na face vestibular de um molar. a) desenho inicial com caneta de acetato; b) altura de 2 mm; c) largura de 6 mm.

Para preparar as cavidades de forma padronizada, os dentes foram colocados num suporte de cera. Esta base de cera permitiu a utilização de uma máquina de normalização de preparações, desenvolvida e descrita por Manso e colaboradores (2011), na qual é montada uma turbina com broca cilíndrica diamantada 018 (Figura 4). De seguida, as paredes da cavidade foram acabadas com uma broca de carboneto com cabeça de corte de fissuras planas e água, de acordo com as normas (ISO/TS 11405: 2015). As brocas foram substituídas após seis utilizações para atestar da eficácia de corte.



Figura 4 - Execução da cavidade de classe V com a máquina de padronização. a) Posicionamento do dente na máquina; b) Posicionamento do dente na máquina no primeiro ponto para fazer uma cavidade de 1,5 mm de profundidade; c) Posicionamento do dente na máquina no segundo ponto (Manso et al., 2011).

A profundidade da cavidade media 1,5 mm (Figura 5) e foi controlada com um calibrador digital numa máquina de padronização, o qual permite controlar e medir a profundidade da cavidade criada pela turbina (Manso et al., 2011). É assim que podemos padronizar as cavidades.



Figura 5 - Cavidade de classe V padronizada com 1,5 mm de profundidade

3.2.1.3 Grupos Experimentais

Em cada dente surgiram 2 grupos experimentais, de acordo com a localização das cavidades:

Grupo CNT (controle) – aplicação do sistema adesivo Scotchbond Universal® (3M ESPE, St. Paul, EUA) com a estratégia adesiva *selective enamel etching* nas superfícies vestibulares.

Grupo ALC (experimental) – aplicação do sistema adesivo Universal Máxima Natural Elegance 7 Universal® (HenrySchein, Service GmbH, Langen, Alemanha) com a estratégia adesiva *selective enamel etching* nas superfícies linguais/palatinas.

Estratégia adesiva *selective enamel etching* (Adesivo Scotchbond Universal® de 3M ESPE) segundo as instruções do fabricante (Anexo 3)

1. Em primeiro lugar, aplicar ácido ortofosfórico a 37% apenas no esmalte durante 20 segundos, depois lavar cuidadosamente durante 20 segundos e secar sem desidratar a dentina.
2. Em seguida, aplicar o adesivo Scotchbond Universal® com um *microbrush*, esfregando durante 20 segundos.
3. Secar ligeiramente com a seringa de ar durante cerca de 5 segundos para evaporar o solvente.
4. Fotopolimerizar durante 10 segundos.

Estratégia adesiva *selective enamel etching* (Adesivo Universal Máxima Natural Elegance 7 Universal®) segundo as instruções do fabricante (anexo 4)

1. Aplicar ácido fosfórico a 37% apenas no esmalte durante 20 segundos (Figura 6a) (Kharouf et al., 2020).
2. Lavar durante 20 segundos
3. Secar sem desidratar a dentina.
4. Aplicar o adesivo com um *microbrush*, esfregando durante 20 segundos (Figura 6b).
5. Secar ligeiramente com a seringa de ar durante 5 segundos para evaporar o solvente (Figura 6c).
6. Fotopolimerizar durante 10 segundos (Figura 6d).

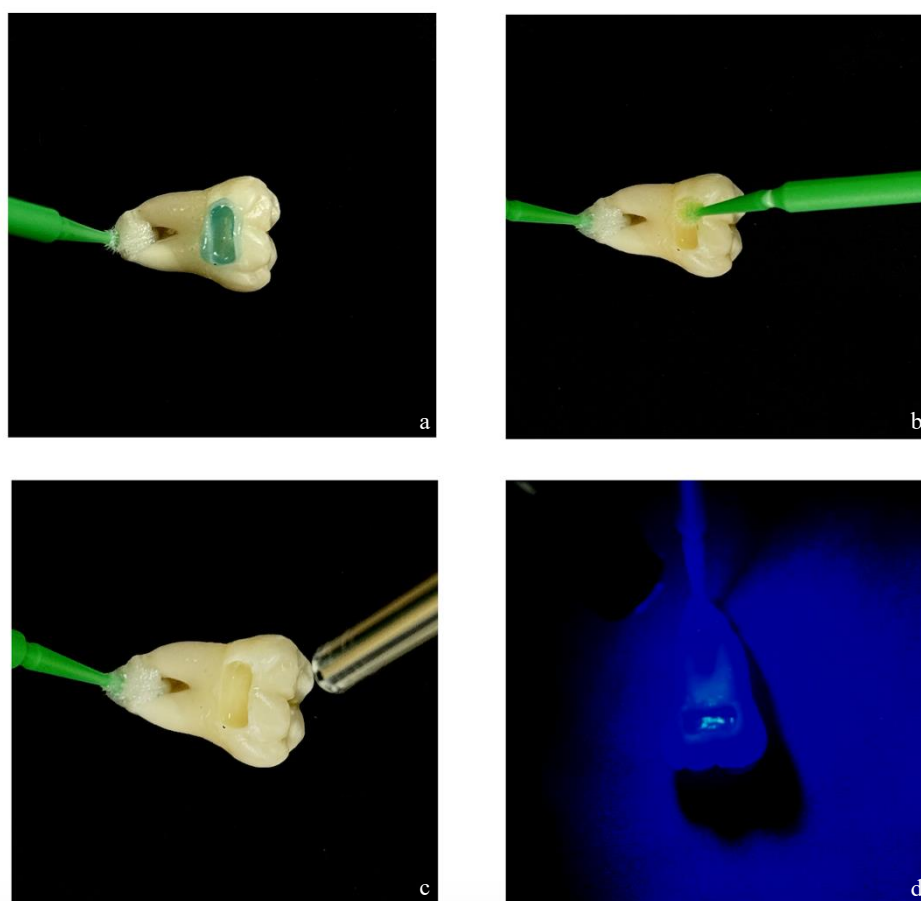


Figura 6 - Protocolo de adesão e de restauração. a) aplicação do ácido fosfórico em *selective enamel etching*; b) Aplicação do sistema adesivo em função da face do dente com um *microbrush*; c) secar sem desidratar a dentina; d) fotopolimerização durante 10 segundos.

3.2.1.4 Colocação da Resina Composta

As cavidades foram depois restauradas com um único incremento de 2 mm de resina composta microhíbrida Filtek™ Z250 (3M ESPE, St. Paul, EUA). A fotopolimerização foi realizada com um fotopolimerizador Optilux 501 (Kerr, Scapati, Itália) durante 20 s, com uma intensidade de fotopolimerização máxima 900mW/cm² (Figura 7).

Controlou-se a cada 10 utilizações a luz do fotopolimerizador com um radiómetro (Curing Radiometer P/N 10503, EUA), o qual, deve estar entre os valores de 400-900 mW/cm², em função das instruções do fabricante.



Figura 7 - Restauração com resina composta da cavidade.

Posteriormente, todas as restaurações foram acabadas e polidas com discos/borrachas de polimento Sof-Lex™ (3M ESPE, St. Paul, EUA).

3.2.1.5 Envelhecimento

Metade dos dentes ($n = 10$) foram depois armazenadas por 24 h a 37 °C em água destilada na estufa Memmert INE 400 (Memmert, Alemanha) (Figura 8).



Figura 8 - Estufa Memmert INE 400 (Memmert, Alemanha).

A outra metade foi submetida a uma sequência de banhos alternados de frio (5 °C) e quente (55 °C) em água desionizada, durante 20 segundos, com um tempo de transferência entre banhos de 5 segundos, numa termocicladora (Refri 200 E, ARALAB, Parede, Portugal). Foram completos 500 ciclos de termociclagem (ISO/TS 11405: 2015) (Figura 9).



Figura 9 - Termociclador (Refri 200 E, ARALAB, Parede, Portugal) utilizado.

3.2.2 Microinfiltração marginal

Concluído o processo de envelhecimento dos 20 dentes (10 dentes a 24 h e 10 dentes com termociclagem), os dentes foram secos com uma seringa de ar, os ápices radiculares foram selados com resina composta e as superfícies externas foram isoladas com duas camadas de verniz incolor (KIKO, Milano), com exceção da restauração e 1 mm à volta da mesma (Figura 10).

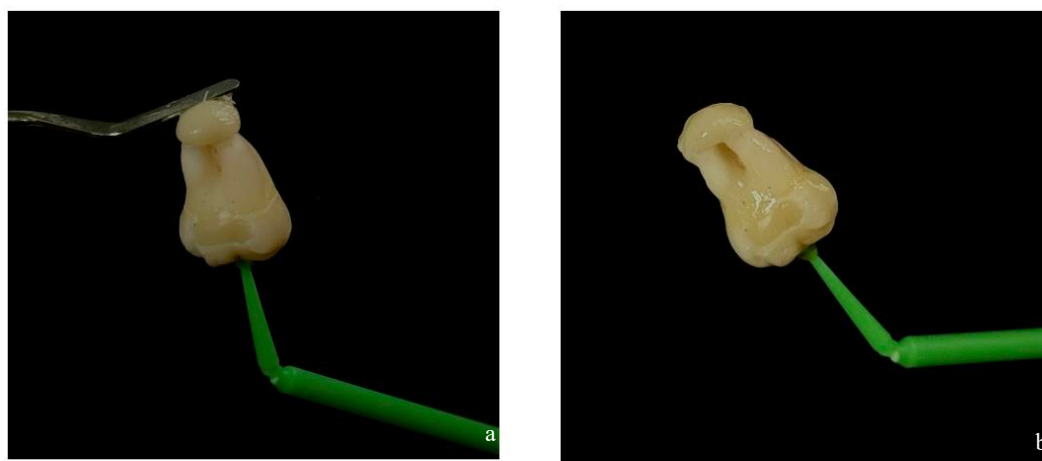


Figura 10 - Preparação externa do dente antes da imersão em fucsina básica. a) colocação de resina composta no ápice radicular ; b) superfície do dente depois aplicação de verniz incolor nas superfícies externas.

De seguida, os dentes foram imersos numa solução de fucsina básica a 0,5 % a 37 °C durante 24 h e lavados em água corrente durante 1 minuto, de acordo com a norma ISO/TS 11405: 2015 (Bolgül et al., 2017).

3.2.3 Corte dos Dentes

Para observar a microinfiltração, os dentes foram colados num suporte de acrílico e seccionados longitudinalmente no sentido vestibulo-palatino/lingual com um disco diamantado no micrótomo de tecidos duros Accutom 50 (Struers, Ballerup, Dinamarca), a baixa velocidade com refrigeração (Figura 11). Depois, os dentes foram observados por um único observador através da lupa esterioscópica Leica Microsystems numa ampliação de 10x para classificar a microinfiltração.



Figura 11 - Micrótomo de tecidos duros Accutom 50 (Struers, Ballerup, Dinamarca)

Se a cavidade envolver a dentina e o esmalte, o critério de avaliação foi baseado numa escala de 0 a 3, de acordo com a norma ISO/TS 11405: 2015:

- 0 = Sem penetração (Figura 12a);
- 1 = Penetração na parte de esmalte da cavidade (Figura 12b);
- 2 = Penetração na dentina da cavidade, mas não incluindo a base da polpa (Figura 12c);
- 3 = Penetração incluindo a base da polpa da cavidade.

Se a cavidade envolver só a dentina, o critério de avaliação foi baseado numa escala de 0 a 2, de acordo com a norma ISO/TS 11405: 2015:

- 0 = Sem penetração;
- 1 = Penetração na dentina, mas não incluindo a base da polpa da cavidade;
- 2 = Penetração incluindo a base da polpa da cavidade.

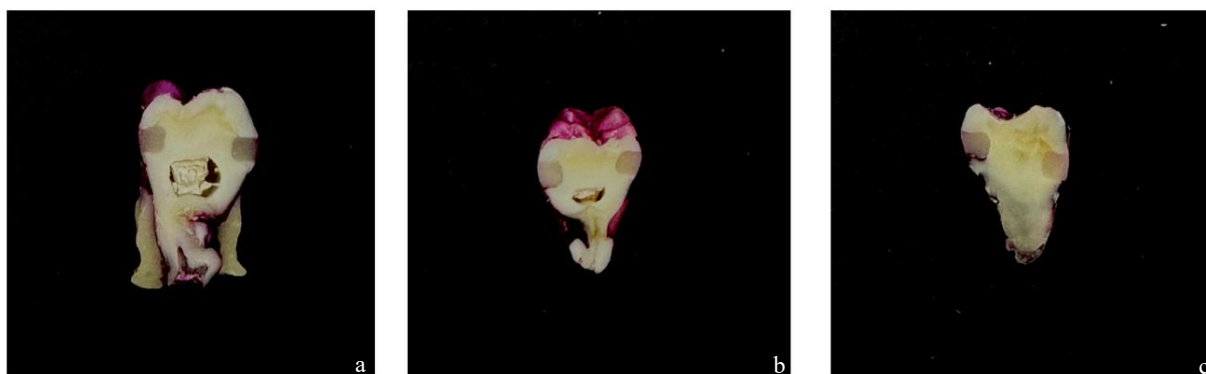


Figura 12 – Observação dos cortes de dentes. a) Sem penetração do corante (score 0) ; b) Penetração do corante na parte do esmalte da cavidade (score 1) ; c) Penetração do corante na dentina da cavidade, mas não incluindo a base pulpar da cavidade.

3.2.4 Análise Estatística

Os dados foram analisados estatisticamente com recurso ao programa de análise estatística IMG SPSS Statistics v.29.

Não é necessária avaliação da normalidade, uma vez que a microinfiltração é uma variável ordinal.

Para comparar a microinfiltração entre os dois adesivos universais e o envelhecimento (estufa e termociclagem) foi utilizado o teste estatístico não paramétrico de *Mann-Whitney* com um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

3.2.5 Diagrama experimental

A figura 13 apresenta o diagrama experimental, conforme descrito nas secções anteriores.

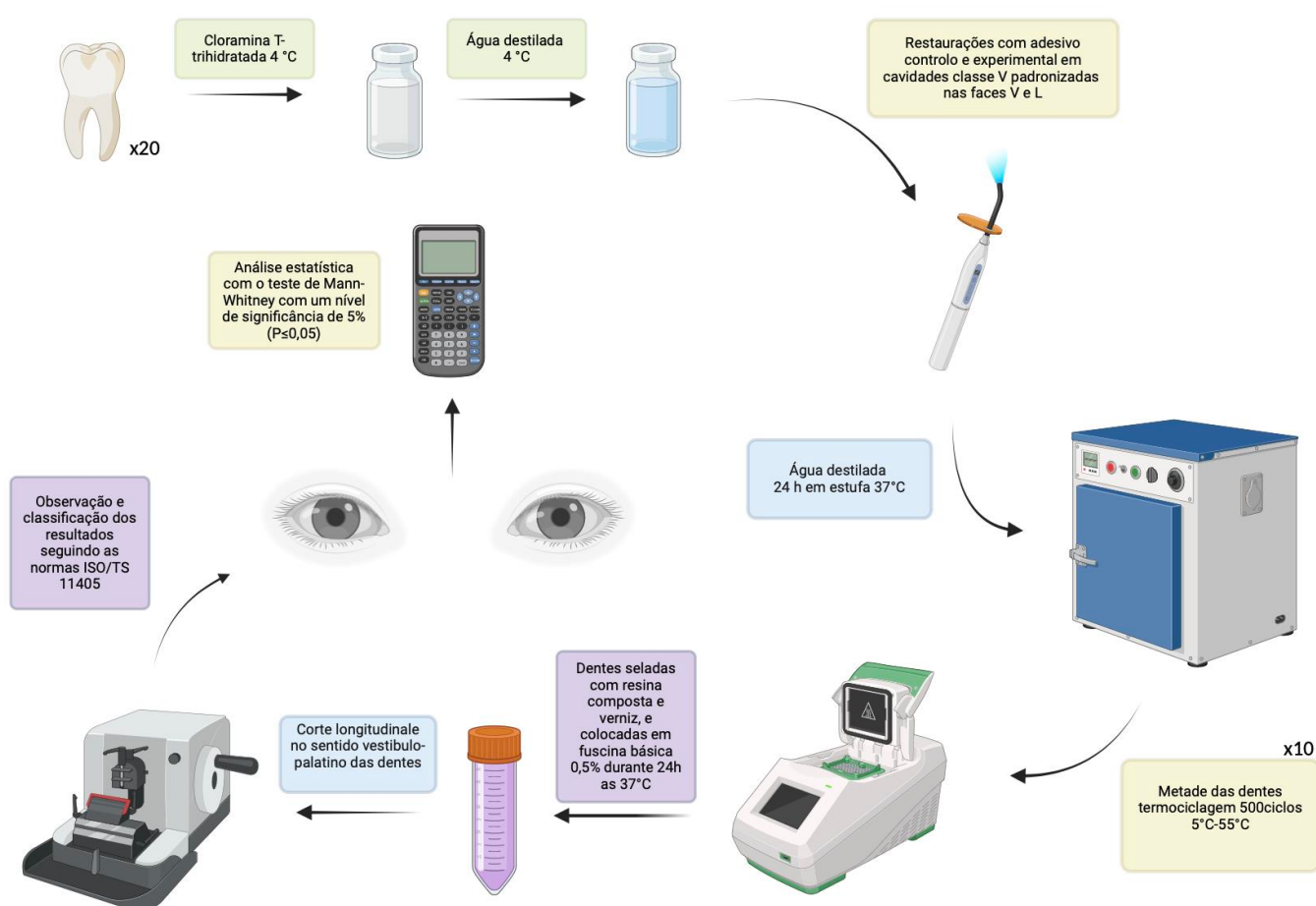


Figura 13 - Diagrama sumário das fases experimentais (realizado com Biorender®).

4 RESULTADOS

Os resultados da microinfiltração para restaurações de acordo com a norma ISO/TS 114205 para cada grupo, consoante a utilização do termociclador ou só da estufa, foram apresentados nas tabelas 3, 4 e 5, e ilustrados nas figuras 13, 14, 15 e 16.

Tabela 3 - Resultados da microinfiltração nas restaurações do grupo CNT.

Subgrupo	Nº dente	Grau de microinfiltração
TC	1	2
	2	2
	3	0
	4	0
	5	1
	6	2
	7	1
	8	1
	9	0
	10	0
E	11	1
	12	0
	13	1
	14	0
	15	0
	16	0
	17	0
	18	0
	19	0
	20	0

Tabela 4 - Resultados da microinfiltração nas restaurações do grupo ALC.

Subgrupo	Nº dente	Grau de microinfiltração
TC	1	0
	2	1
	3	0
	4	0
	5	1
	6	0
	7	1
	8	0
	9	1
	10	0
E	11	0
	12	0
	13	0
	14	0
	15	0
	16	0
	17	0
	18	0
	19	0
	20	0

Tabela 5 - Resultados do grau de microinfiltração dos 2 grupos estudados.

			Grupo		Total
			CNT	ALC	
Microinfiltração	0	Frequência	16	12	28
		% Microinfiltração	57,1	42,9	100,0
		% Grupo	80,0	60,0	70,0
		% Total	40,0	30,0	70,0
	1	Frequência	4	5	9
		% Microinfiltração	44,4	55,6	100,0
		% Grupo	20,0	25,0	22,5
		% Total	10,0	12,5	22,5
	2	Frequência	0	3	3
		% Microinfiltração	0,0	100,0	100,0
		% Grupo	0,0	15,0	7,5
		% Total	0,0	7,5	7,5
Total		Frequência	20	20	40
		% Microinfiltração	50,0	50,0	100,0
		% Grupo	100,0	100,0	100,0
		% Total	50,0	50,0	100,0

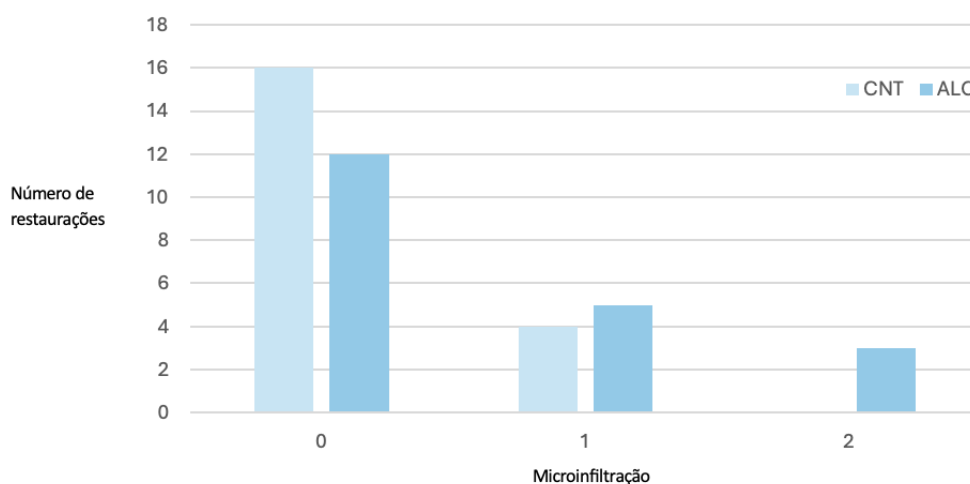


Figura 14 - Gráfico representativo da microinfiltração segundo as normas ISO/TS 114205 nos diferentes grupos.
CNT : grupo controle; ALC : grupo experimental.

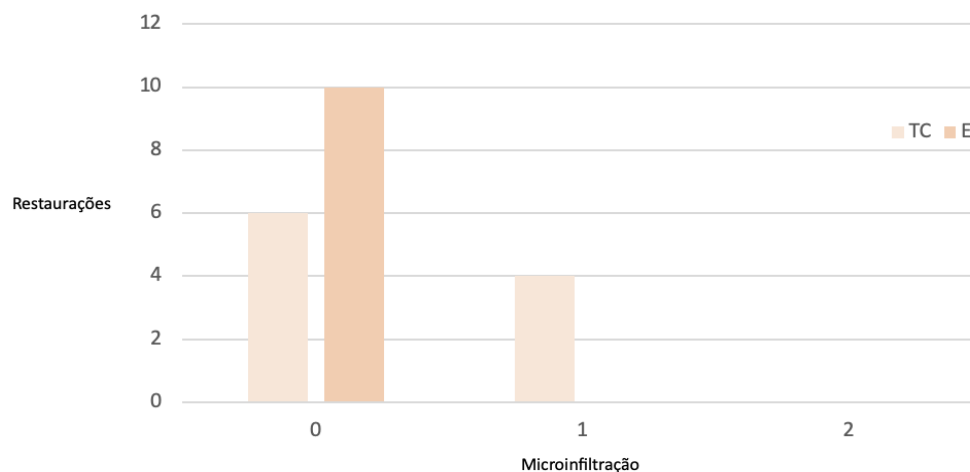


Figura 15 - Gráfico representativo da microinfiltração seguinte as normas ISO/TS 114205 no grupo CNT, com ou sem termociclagem. E = estufa 24h; TC = Termociclagem.

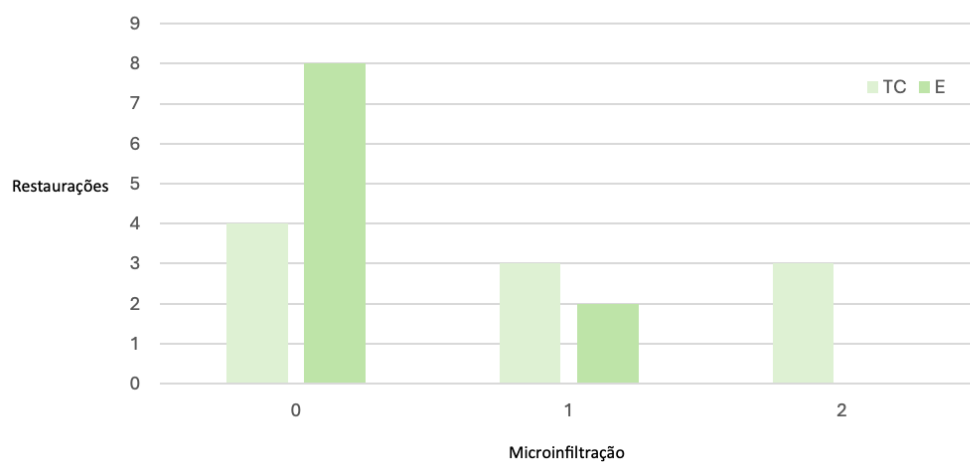


Figura 16 - Gráfico representativo da microinfiltração segundo as normas ISO/TS 114205 no grupo ALC, com ou sem termociclagem. E = estufa 24h; TC = Termociclagem.

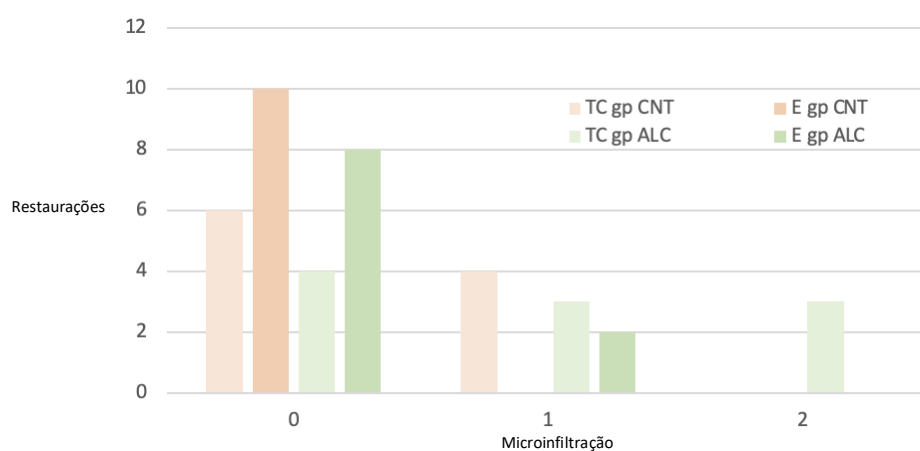


Figura 17 - Gráfico representativo da microinfiltração segundo as normas ISO/TS 114205 nos dois grupos, com ou sem termociclagem. E = estufa 24h; TC = Termociclagem ; CNT = grupo controle; ALC = grupo experimental.

4.1 Análise estatística inferencial – Teste de *Mann-Whitney*

4.1.1 Análise de resultados da microinfiltração marginal em restaurações diretas com dois sistemas adesivos universais

Através da comparação inferencial foi possível verificar que não existem diferenças estatisticamente significativas entre os valores de microinfiltração registrados para os dois grupos, CNT e ALC ($p = 0,121$, teste de *Mann-Whitney*) (Tabela 6).

Tabela 6 - Comparação da distribuição dos valores de microinfiltração entre os dois grupos através do teste de *Mann-Whitney* com um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

Grupo	Mediana	AIQ	Min.-Máx.	<i>p</i>
CNT	0	0	0-1	0,121
ALC	0	1	0-2	

CNT : grupo control ; ALC : grupo experimental ; E : estufa 24h ; TC : Termociclagem.

4.1.2 Análise de resultados da microinfiltração marginal em restaurações diretas com 2 sistemas adesivos universais, em função da utilização do termociclador ou da estufa

Em ambos os grupos (CNT e ALC), foi possível verificar que existem diferenças estatisticamente significativas na microinfiltração entre o envelhecimento na estufa a 24 h e o envelhecimento térmico ($p = 0,029$ e $p = 0,047$, respectivamente) (Tabela 7 e 8), sendo esta maior nos grupos do envelhecimento térmico.

Tabela 7 - Teste de *Mann-Whitney* dos subgrupos (TC e E) do grupo CNT com um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

CNT	Mediana	Amplitude Interquartil	Min.-Máx.	<i>p</i>
TC	0	1	0-1	0,029
E	0	0	0-0	

CNT : grupo control ; ALC : grupo experimental ; E : estufa 24h ; TC : Termociclagem.

Tabela 8 - Teste de *Mann-Whitney* dos subgrupos (TC e E) do grupo ALC com um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

ALC	Mediana	Amplitude Interquartil	Min.-Máx.	<i>p</i>
TC	1	2	0-2	0,047
E	0	0	0-1	

CNT : grupo control ; ALC : grupo experimental ; E : estufa 24h ; TC : Termociclagem.

5 DISCUSSÃO

A medicina dentária minimamente invasiva tornou-se um princípio essencial à medida que a importância estética dos dentes aumenta. O seu objetivo é preservar os tecidos dentários saudáveis e evitar grandes intervenções cirúrgicas. As restaurações mais conservadoras e biologicamente compatíveis tornaram-se possíveis graças às tecnologias adesivas (Murdoch-Kinch & McLEAN, 2003).

A adesão refere-se à capacidade de dois materiais distintos serem mantidos juntos por forças interfaciais, tais como forças de van der Waals, ligações químicas ou atração eletrostática. Estas forças têm um impacto não só na resistência mecânica, mas também nas características da zona interfacial e dos próprios materiais (Ebnesajjad, 2011).

Ao reforçarem a dentina e o esmalte, os sistemas adesivos dentários revolucionaram a medicina dentária ao reduzirem a microinfiltração e a sensibilidade pós-operatória, facilitando as práticas minimamente invasivas (Hamdy, 2018; Vinagre & Ramos, 2016).

O principal objetivo da restauração adesiva é melhorar a ligação entre o material de restauração e o substrato dentário (Hamdy, 2018). Então, é crucial utilizar técnicas adesivas para garantir a impermeabilidade e a retenção das restaurações com resina composta, proporcionando uma melhor proteção dos tecidos dentários e melhorando a aparência (Roeters, 2001).

A adesão à dentina e ao esmalte apresenta dificuldades devido às suas estruturas e composições distintas. A técnica de interbloqueio micromecânico é eficaz para o esmalte, mas é mais complexa para a dentina, um substrato orgânico e húmido (Perdigão, 2020).

Desde as primeiras experiências de Buonocore com o condicionamento ácido, os sistemas adesivos evoluíram. Os novos sistemas adesivos universais combinam os benefícios das técnicas de condicionamento total e auto-condicionamento, tornando os procedimentos clínicos mais simples e assegurando uma adesão eficaz ao esmalte e à dentina (Jones, 1995; Alex, 2015).

A popularidade dos sistemas adesivos universais reside na sua baixa toxicidade e flexibilidade de uso. Após a expiração da patente da Kuraray Noritake Dental para 10-MDP em 2003, a 3M

Oral Care introduziu o primeiro adesivo universal, Scotchbond Universal Adhesive, em 2012, permitindo avanços em composições adesivas (Brkanović et al., 2023).

O 10-MDP, um monómero com uma estrutura química polar, melhora a aderência promovendo a interação química com substratos dentários e aumentando as resistências de ligação em comparação com a adesão micromecânica isolada. Também desempenha um papel na preservação das fibras colágenas através da produção de sais de cálcio MDP (Carrilho et al., 2019).

A presença destes sais promove a formação de uma zona resistente ao ácido na interface adesiva, reduzindo assim a microinfiltração. Ao estabelecer ligações químicas estáveis com a hidroxiapatita da dentina, o 10-MDP fortalece a força de ligação e reduz a penetração de fluidos e bactérias na interface adesiva. No entanto, a presença de vários outros elementos em soluções adesivas pode dificultar essa interação, destacando a importância de formulações otimizadas para maximizar a eficácia do 10-MDP (Yuan et al., 2021).

O sistema adesivo Máxima Natural Elegance 7 Universal[®], cuja microinfiltração foram avaliada, é um sistema *low cost*

sobre o qual existe pouca informação disponível. Sabe-se que é composto por metacrilatos, fotoiniciadores, etanol e água. Por outro lado, não se sabe quais os monómeros integrados na sua formulação. É por esta razão que optámos por investigar a sua eficácia ao nível das restaurações diretas, em particular a sua microinfiltração e compará-la com um conhecido sistema adesivo universal.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a microinfiltração em restaurações diretas utilizando um sistema adesivo universal de baixo custo.

A microinfiltração, que resulta no movimento de fluidos, bactérias, moléculas ou íons entre a cavidade e o material restaurador, pode comprometer a integridade das restaurações dentárias, causando cárie secundária e hipersensibilidade, ou mesmo levando à falha da restauração. Estudos têm demonstrado que a microinfiltração, um fator-chave que afeta a durabilidade das restaurações dentárias, é mais pronunciada nas margens da dentina do que nas margens do esmalte, devido às disparidades estruturais e composicionais entre esses substratos (Kidd, 1976; Kasraie et al., 2012).

Várias técnicas têm sido utilizadas para avaliar a eficiência de vedação de materiais restauradores, como o uso de corantes, isótopos radioativos e microscopia eletrônica de varredura (Kidd, 1976).

Para estudar a microinfiltração em restaurações diretas de um sistema adesivo universal de baixo custo *in vitro*, foram selecionados 20 molares saudáveis por apresentarem características mecânicas e estruturais semelhantes às da boca, o que garante resultados mais confiáveis e clinicamente relevantes (Faria et al., 2022).

Para realizar esta investigação, todo o protocolo experimental segue as diretrizes da ISO/TS 11405:2015. A conformidade com as normas ISO é essencial para garantir a fiabilidade e comparabilidade dos resultados dos ensaios. As normas ISO estabelecem diretrizes rigorosas para a preparação de amostras, técnicas de teste e análise de resultados (Salz & Bock, 2010).

Foram realizadas duas cavidades classe V nas faces lingual e vestibular de cada dente, cavidades padronizadas, utilizando uma broca cilíndrica diamantada 018 numa turbina. Os dentes foram depois divididos em 2 grupos, sendo o primeiro composto pelas cavidades vestibulares de todos os dentes a serem restaurados com o sistema adesivo Scotchbond Universal[®] (3M ESPE, St. Paul, EUA), e o segundo composto pelas cavidades linguais/palatinas restauradas com o sistema adesivo Máxima Natural Elegance[®] Universal (HenrySchein), utilizando o mesmo protocolo.

As cavidades são então restauradas com um único incremento de 2mm de resina composta microhíbrida FiltekTM Z250 (3M ESPE), e polidas. Quando os incrementos são mantidos a 2 mm, o risco de eluição excessiva é reduzido e a conversão completa do monómero é assegurada, melhorando a durabilidade e a integridade da construção (Rothmund et al., 2017).

De seguida, os dentes foram selados com resina composta nos ápices e as superfícies externas isoladas com 2 camadas de verniz incolor, sendo depois imersos numa solução de fucsina a 0,5% a 37 °C durante 24h. Devido à sua capacidade de penetrar nos espaços mais microscópicos entre as restaurações e as estruturas dentárias, a fucsina básica é frequentemente utilizada em testes de microinfiltração. Esta abordagem oferece uma visão fiável da presença de microinfiltração. De acordo com a investigação, a penetração da fucsina básica é um método fiável de registo da microinfiltração, permitindo uma avaliação precisa da estanquidade das restaurações dentárias e garantindo a sua durabilidade (De Santi Alvarenga et al., 2015).

No entanto, devido às variações de peso molecular entre os corantes e as bactérias, os testes de microinfiltração que utilizam corantes têm várias limitações. A precisão dos resultados pode ser afetada por estas diferenças, uma vez que os corantes podem não representar com precisão a verdadeira penetração bacteriana. Por exemplo, as imagens de micro-CT permitem avaliar a microinfiltração com mais pormenor e precisão do que a simples penetração de corantes, revelando que o método dos corantes, por si só, pode subestimar ou sobrestimar a microinfiltração, dependendo das condições experimentais (Jacker-Guhr et al., 2015).

Para observar a microinfiltração das restaurações, os dentes foram seccionados longitudinalmente na direção mesio-distal com um micrótomo de tecidos duros. A presença de microinfiltração foi então avaliada utilizando uma escala de 0 a 3, de acordo com a norma ISO/TS 11405: 2015.

Olhando para os resultados, pode ver-se que o grupo ALC tem restaurações que atingem um score de microinfiltração de 2, enquanto o grupo CNT não tem nenhuma. Os gráficos (Figura 13, 14, 15) mostram que o grupo ALC tem mais scores altos de microinfiltração nas restaurações em que foi utilizado o sistema adesivo de baixo custo.

Contudo, de acordo com os resultados obtidos, não se registaram diferenças significativas entre a microinfiltração marginal dos dois sistemas adesivos testados. Assim, podemos aceitar a primeira hipótese nula (H_0): a microinfiltração marginal em restaurações diretas não é influenciada pelo tipo de sistema adesivo universal utilizado.

No entanto, se observarmos o intervalo interquartil para os dois sistemas adesivos, podemos verificar que valores de microinfiltração mais elevados para o sistema adesivo de baixo custo ($AIQ = 1$) para o grupo ALC, enquanto que ($AIQ = 0$) para o grupo CNT.

Um estudo de Tuncer e colaboradores em 2014 avaliou a microinfiltração de restaurações dentárias com diferentes sistemas adesivos. Ao contrário do nosso estudo, conseguiram detetar uma diferença significativa na microinfiltração entre os diferentes sistemas adesivos testados. No entanto, realizaram o seu estudo com um maior número de amostras, utilizaram 60 molares extraídos, nos quais, realizaram 2 cavidades, realizando um total de 120 cavidades. Para além disso, os resultados não foram analisados da mesma forma. Eles mediram a extensão da microinfiltração em milímetros. O resto do estudo é semelhante ao que realizámos. (Tuncer et al., 2014).

Além disso, num estudo de Pranckevičienė e colaboradores em 2019 que comparou a microinfiltração de um sistema adesivo universal em função da humidade da cavidade, também utilizou um número de amostras maior e os resultados não foram analisados da mesma forma. 30 dentes foram corados com azul de metileno e a microinfiltração foi medida em milímetros com recurso a um microscópio (Pranckevičienė et al., 2019).

Uma das limitações do nosso estudo seria, portanto, talvez o número demasiado pequeno de amostras, o que pode resultar na obtenção de diferenças não significativas ao nível dos testes estatísticos.

Os testes laboratoriais têm muitas limitações significativas, como o julgamento do observador e a capacidade limitada de prever resultados clínicos reais. Quando as expectativas dos investigadores têm impacto nos resultados dos testes, é possível que se manifeste um enviesamento do observador, particularmente quando se medem variáveis subjectivas. Estes enviesamentos podem conduzir a tamanhos de efeito exagerados e a resultados menos fiáveis. Além disso, apesar das informações valiosas fornecidas pelos testes *in vitro*, estes nem sempre são capazes de prever com exatidão o desempenho clínico devido às disparidades entre os ambientes laboratoriais (Holman et al., 2015).

As influências ambientais também colocam problemas na previsão do comportamento clínico dos sistemas adesivos a partir de dados laboratoriais *in vitro*, tais como descoloração, sensibilidades pós-operatórias, desempenho a longo prazo e vida útil da restauração. Além disso, no ambiente oral, factores como o stress físico, hábitos de mastigação, hábitos alimentares e outros podem acelerar a degradação da interface adesiva (Salz & Bock, 2010; Van Dijken, 2010).

Por conseguinte, seria aconselhável alargar a investigação e realizar estudos adicionais a longo prazo, a fim de beneficiar de uma comparação e de informações adicionais.

Nesse sentido podemos aceitar a primeira hipótese nula (H_0): a microinfiltração marginal em restaurações diretas não é influenciada pelo tipo de sistema adesivo universal utilizado.

Relativamente ao envelhecimento, em ambos os sistemas adesivos, houve diferenças significativas na microinfiltração marginal entre o envelhecimento em estufa e a

termociclagem. As nossas amostras foram armazenadas por 24 h a 37 °C na estufas, após, a metade eram submetida a 500 ciclos de termociclagem, com banhos de 20 segundos em temperaturas de 5 °C e 55 °C.

No grupo CNT, os scores observados mostraram que houve maior microinfiltração no grupo submetido à termociclagem. O mesmo foi observado no grupo ALC.

Os estudos *in vitro* utilizam regularmente a termociclagem para avaliar a resistência dos materiais dentários, nomeadamente dos sistemas adesivos, às variações de temperatura na boca. Trata-se de expor dentes restaurados a variações de temperatura, alternando entre banhos de água a 5 °C e 50 °C, de modo a reproduzir as condições reais da boca. Estudamos o efeito deste método na microinfiltração, estudando depois a capacidade de penetração dos corantes. Isto permite determinar se os sistemas adesivos resistem efetivamente às microinfiltrações e preservam a integridade das restaurações, mesmo em condições de temperatura extremas (J et al., 1992).

No estudo de Tuncer e colaboradores em 2014, foram realizados 1000 ciclos de termociclagem e no estudo de Pranckevičienė e colaboradores em 2019, realizaram 3000 ciclos. Neste último, referem que 6000 ciclos mimetizam 5 anos de condições orais, isto significaria que no nosso estudo, os 500 ciclos realizados mimetizariam aproximadamente 5 meses de condições orais normais. Para além disso, referem também que 2500 ciclos têm uma diferença significativa na força de adesão (Tuncer et al., 2014; Pranckevičienė et al., 2019).

No entanto, poder-se-ia pensar que um maior número de ciclos de termociclagem teria dado uma imagem mais exacta do estado da microinfiltração em condições orais normais a longo prazo.

Com os resultados obtidos podemos rejeitar a segunda hipótese nula (H0), ou seja concluir que a microinfiltração marginal em restaurações diretas é influenciada pelo termociclagem.

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nesta investigação, e dentro das limitações deste estudo, pode-se concluir que:

- A microinfiltração de restaurações directas realizadas com um sistema adesivo universal de baixo custo não aumenta a microinfiltração marginal, quando comparado com o sistema adesivo Scotchbond Universal® (3M ESPE, St. Paul, USA);
- A microinfiltração de restaurações directas realizadas com ambos os sistemas adesivos aumenta após envelhecimento térmico.

Relevância clínica

As restaurações directas são tratamentos frequentes realizados no consultório por todos os médicos dentistas. Existe uma diversidade de sistemas adesivos, como sistemas adesivos E&R, SE e, finalmente, os sistemas adesivos universais, que pouparam tempo aos médicos dentistas e facilitaram a sua utilização.

No entanto, quando são lançados novos sistemas adesivos no mercado, ha pouca informação sobre a sua composição. Por isso, é importante efetuar estudos para comparar a qualidade destes sistemas adesivos, utilizando vários métodos de teste, como o utilizado neste estudo.

Perspectivas futuras

Para futuras investigações seria pertinente:

- Aumentar o tamanho da amostra para obter uma diferença real;
- Aumentar o número de ciclos de termociclagem a fim de obter resultados que correspondam ao estado da restauracao a longo prazo;
- Comparar com outros corantes com diferentes tamanhos de partículas para ver se os resultados obtidos são diferentes;
- Avaliar a microinfiltração *in vitro* com um método quantitativo, para que a subjetividade do observador não influencie os resultados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alex, G., 2015). *Universal Adhesives: The Next Evolution in Adhesive Dentistry?*
www.compendiumlive.com

Bin-Jardan, L. I., Almadani, D. I., Almutairi, L. S., Almoabid, H. A., Alessa, M. A., Almulhim, K. S., AlSheikh, R. N., Al-Dulaijan, Y. A., Ibrahim, M. S., Al-Zain, A. O., & Balhaddad, A. A. (2023). Inorganic Compounds as Remineralizing Fillers in Dental Restorative Materials: Narrative Review. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 24, Issue 9). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).
<https://doi.org/10.3390/ijms24098295>

Bolgul, B., Ayna, B., Simsek, I., Çelenk, S., Şeker, O., & Kiliç, G. (2017). Leakage testing for different adhesive systems and composites to permanent teeth. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 20(7), 787–791. <https://doi.org/10.4103/1119-3077.171417>

Brkanović, S., Sever, E. K., Vukelja, J., Ivica, A., Miletić, I., & Krmek, S. J. (2023). Comparison of different universal adhesive systems on dentin bond strength. *Materials*, 16(4), 1530. <https://doi.org/10.3390/ma16041530>

Buonocore, M. G. (1955). A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *Journal of Dental Research*, 34(6), 849–853. <https://doi.org/10.1177/00220345550340060801>

Carpena Lopes, G., & S Oliveira, G. M. (1995). Article in Compendium of continuing education in dentistry. <https://www.researchgate.net/publication/6678444>

Carrilho, E., Cardoso, M., Ferreira, M. M., Marto, C., Paula, A., & Coelho, A. (2019). 10-MDP Based Dental Adhesives: Adhesive Interface Characterization and Adhesive Stability—A Systematic Review. *Materials*, 12(5), 790. <https://doi.org/10.3390/ma12050790>

Chen, C., Niu, L. N., Xie, H., Zhang, Z. Y., Zhou, L. Q., Jiao, K., Chen, J. H., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2015). Bonding of universal adhesives to dentine-Old wine in new bottles? *Journal of Dentistry*, 43(5), 525–536. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.03.004>

da Veiga, A. M. A., Cunha, A. C., Ferreira, D. M. T. P., da Silva Fidalgo, T. K., Chianca, T. K., Reis, K. R., & Maia, L. C. (2016). Longevity of direct and indirect resin composite restorations in permanent posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. In *Journal of Dentistry* (Vol. 54, pp. 1–12). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.08.003>

De Santi Alvarenga, F. A., Pinelli, C., & De Castro Monteiro Loffredo, L. (2015). Reliability of marginal microleakage assessment by visual and digital methods. *the European Journal of Dentistry/the European Journal of Dentistry*, 09(01), 001–005. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.149628>

Dressano, D., Salvador, M. V., Oliveira, M. T., Marchi, G. M., Fronza, B. M., Hadis, M., Palin, W. M., & Lima, A. F. (2020). Chemistry of novel and contemporary resin-based dental adhesives. In *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* (Vol. 110). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103875>

Ebnesajjad, S. (2011). Introduction and adhesion theories. In Elsevier eBooks (pp. 3–13). <https://doi.org/10.1016/b978-1-4377-4461-3.10001-x>

Fabianelli, A. (2007). THE RELEVANCE OF MICRO-LEAKAGE STUDIES. <https://www.researchgate.net/publication/266776496>

Farci, F., & Soni, A. (2023, June 26). Histology, tooth. StatPearls – NCBI Bookshelf. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK572055/>

Faria, L. V., Antunes, L. S., Pio, L. R. R., Dias, J. C., Pinheiro, L. H. M., Reis, C. L. B., Fontes, K. B. F. C., Cajazeira, M. R. R., & Antunes, L. a. A. (2022). Evaluation of composite restorations in primary molars subjected to selective caries removal associated with antimicrobial photodynamic therapy: A randomized controlled trial. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 32(4), 585–597. <https://doi.org/10.1111/ipd.12937>

Ferreira, M. C., & De Souza Vieira, R. (2008). Marginal leakage in direct and indirect composite resin restorations in primary teeth: An in vitro study. *Journal of Dentistry*, 36(5), 322–325. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2008.01.016>

- Giannini, M., Makishi, P., Ayres, A. P. A., Vermelho, P. M., Fronza, B. M., Nikaido, T., & Tagami, J. (2015). Self-Etch Adhesive Systems: A Literature review. *Brazilian Dental Journal*, 26(1), 3–10. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201302442>
- Hamdy, T. M. (2018). Modifications of dental adhesive systems. *Journal of Dental Health, Oral Disorders & Therapy*, 9(1). <https://doi.org/10.15406/jdhodt.2018.09.00319>
- Hardan, L., Bourgi, R., Cuevas-Suárez, C. E., Zarow, M., Kharouf, N., Mancino, D., Villares, C. F., Skaba, D., & Lukomska-Szymanska, M. (2021). The bond strength and antibacterial activity of the universal dentin bonding system: A systematic review and meta-analysis. In *Microorganisms* (Vol. 9, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9061230>
- Hepdeniz, O. K., Temel, U. B., Ugurlu, M., & Koskan, O. (2016). The effect of surface sealants with different filler content on microleakage of Class V resin composite restorations. *The European Journal of Dentistry/the European Journal of Dentistry*, 10(02), 163–169. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.178315>
- Holman, L., Head, M. L., Lanfear, R., & Jennions, M. D. (2015). Evidence of Experimental Bias in the Life Sciences: Why we need blind data recording. *PLoS Biology*, 13(7), e1002190. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002190>
- Hu, X., Sun, T., Kuang, B., Sun, Y., Chen, L., & Ding, H. (2023). Bibliometric analysis of dental adhesives: research status and frontier development. *Frontiers in Materials*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1288717>
- ISO 11405; Dental Materials—Testing of Adhesion to Tooth Structure*. International Organisation for Standardisation: Geneva, Switzerland, 2015.
- Isolan, C. P., Valente, L. L., Münchow, E. A., Basso, G. R., Pimentel, A. H., Schwantz, J. K., Da Silva, A. V., & Moraes, R. R. (2014b). Bond strength of a universal bonding agent and other contemporary dental adhesives applied on enamel, dentin, composite, and porcelain. *Applied Adhesion Science*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/s40563-014-0025-x>

Jacker-Guhr, S., Ibarra, G., Oppermann, L. S., Lührs, A., Rahman, A., & Geurtsen, W. (2015). Evaluation of microleakage in class V composite restorations using dye penetration and micro-CT. *Clinical Oral Investigations*, 20(7), 1709–1718. <https://doi.org/10.1007/s00784-015-1676-0>

Jones, S. (1995). The story of adhesion and developments in dentistry. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 15(2), 109–113. [https://doi.org/10.1016/0143-7496\(95\)98746-9](https://doi.org/10.1016/0143-7496(95)98746-9)

Josic, U., Mazzitelli, C., Maravic, T., Radovic, I., Jacimovic, J., Mancuso, E., Florenzano, F., Breschi, L., & Mazzoni, A. (2022). The influence of selective enamel etch and self-etch mode of universal adhesives' application on clinical behavior of composite restorations placed on non-carious cervical lesions: A systematic review and meta-analysis. In *Dental Materials* (Vol. 38, Issue 3, pp. 472–488). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.01.002>

J, S. W., McInnes, P., & Dickinson, G. (1992). The effect of thermocycling in microleakage analysis. *Dental Materials*, 8(3), 181–184. [https://doi.org/10.1016/0109-5641\(92\)90079-r](https://doi.org/10.1016/0109-5641(92)90079-r)

Kasraie, S., Azarsina, M., Khamverdi, Z., & Shokrane, F. (2012). Microleakage of dual-cured adhesive systems in class v composite resin restorations. *PubMed*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23066474>

Kidd, E. A. (1976). Microleakage : a review. *Journal of Dentistry*, 4(5), 199–206. [https://doi.org/10.1016/0300-5712\(76\)90048-8](https://doi.org/10.1016/0300-5712(76)90048-8)

Kugel, G., & Ferrari, M. (2000). The science of bonding: From first to sixth generation. *Journal of the American Dental Association*, 131(6 SUPPL.), 20S-25S. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2000.0398>

Marshall, S. J., Bayne, S. C., Baier, R., Tomsia, A. P., & Marshall, G. W. (2010). A review of adhesion science. *Dental Materials*, 26(2). <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.11.157>

Morais, M., Azul, A. C., & Polido, M. (2015). # 42. Microinfiltração marginal de resinas compostas de profundidade de polimerização aumentada. *Revista Portuguesa De Estomatologia, Medicina Dentária E Cirurgia Maxilofacial*, 56, 19.

<https://doi.org/10.1016/j.rpemd.2015.10.043>

Murdoch-Kinch, C. A., & McLEAN, M. E. (2003). Minimally invasive dentistry. *The Journal of the American Dental Association*, 134(1), 87
95. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2003.0021>

Nag, G., Nha, K., & Rd, A. (1997). Microleakage testing. *Annals of Dentistry*, 4(1), 31–37. <https://doi.org/10.22452/adum.vol4no1.9>

Nagarkar, S., Theis-Mahon, N., & Perdigão, J. (2019). Universal dental adhesives: Current status, laboratory testing, and clinical performance. In *Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials* (Vol. 107, Issue 6, pp. 2121–2131). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.34305>

Opdam, N. J. M., Frankenberger, R., & Magne, P. (2016). From “direct versus indirect” toward an integrated restorative concept in the posterior dentition. *Operative Dentistry*, 41, S27–S34. <https://doi.org/10.2341/15-126-LIT>

Orsini, G., Tosco, V., Monterubbianesi, R., Orilisi, G., & Putignano, A. (2020). A new era in restorative dentistry. In *The First Outstanding 50 Years of “Università Politecnica delle Marche”: Research Achievements in Life Sciences* (pp. 319–334). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33832-9_21

Perdigão, J. (2020). Current perspectives on dental adhesion: (1) Dentin adhesion – not there yet. In *Japanese Dental Science Review* (Vol. 56, Issue 1, pp. 190–207). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2020.08.004>

Perdigão, J., Araujo, E., Ramos, R. Q., Gomes, G., & Pizzolotto, L. (2021). Adhesive dentistry: Current concepts and clinical considerations. In *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* (Vol. 33, Issue 1, pp. 51–68). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/jerd.12692>

Pizzolotto, L., & Moraes, R. R. (2022). Resin Composites in Posterior Teeth: Clinical Performance and Direct Restorative Techniques. In *Dentistry Journal* (Vol. 10, Issue 12).

MDPI. <https://doi.org/10.3390/dj10120222>

Pranckevičienė, A., Narbutaitė, R., Siudikienė, J., Damaševičius, R., & Maskeliūnas, R. (2019). An in vitro evaluation of microleakage of class V composite restorations using universal adhesive under different level of cavity moisture conditions. *PubMed*, 21(4), 113–118. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32672716>

Rathi, S. D., Nikhade, P., Chandak, M., Motwani, N., Rathi, C., & Chandak, M. (2020). Microleakage in Composite Resin Restoration- A Review Article. *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences*, 9(12), 1006–1011. <https://doi.org/10.14260/jemds/2020/216>

Roeters, J. J. (2001). Extended indications for directly bonded composite restorations: a clinician's view. *PubMed*, 3(1), 81–87. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11317388>

Rothmund, L., Reichl, F., Hickel, R., Styllou, P., Styllou, M., Kehe, K., Yang, Y., & Högg, C. (2017). Effect of layer thickness on the elution of bulk-fill composite components. *Dental Materials*, 33(1), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.10.006>

Salz, U., & Bock, T. (2010). Testing adhesion of direct restoratives to dental hard tissue – a review. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 12(5), 343–371. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a19741>

Sebold, M., André, C. B., Sahadi, B. O., Breschi, L., & Giannini, M. (2021). Chronological history and current advancements of dental adhesive systems development: a narrative review. In *Journal of Adhesion Science and Technology* (Vol. 35, Issue 18, pp. 1941–1967). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1865611>

Sofan, E., Sofan, A., Palaia, G., Tenore, G., Romeo, U., & Migliau, G. (2017). -. In *Annali di Stomatologia*: Vol. VIII (Issue 1).

Souza, M. H. S. E., Junior, Carneiro, K. G. K., Lobato, M. F., De Almeida Rodrigues Silva E Souza, P., & De Góes, M. F. (2010). Adhesive systems: important aspects related to their composition and clinical use. *Journal of Applied Oral Science*, 18(3), 207–214. <https://doi.org/10.1590/s1678-77572010000300002>

- Triani, F., Pereira da Silva, L., Ferreira Lemos, B., Domingues, J., Teixeira, L., & Manarte-Monteiro, P. (2022). Universal Adhesives: Evaluation of the Relationship between Bond Strength and Application Strategies—A Systematic Review and Meta-Analyses. In *Coatings* (Vol. 12, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/coatings12101501>
- Tsujimoto, A., Barkmeier, W., Takamizawa, T., Wilwerding, T., Latta, M., & Miyazaki, M. (2017). Interfacial characteristics and bond durability of universal adhesive to various substrates. *Operative Dentistry*, 42(2), E59–E70. <https://doi.org/10.2341/15-353-1>
- Tuncer, D., Çelik, Ç., Çehreli, S. B., & Arhun, N. (2014). Comparison of microleakage of a multi-mode adhesive system with contemporary adhesives in class II resin restorations. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 28(13), 1288–1297. <https://doi.org/10.1080/01694243.2014.900908>
- Van Dijken, J. W. (2010). A prospective 8-year evaluation of a mild two-step self-etching adhesive and a heavily filled two-step etch-and-rinse system in non-carious cervical lesions. *Dental Materials*, 26(9), 940–946. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.05.009>
- Van Meerbeek, B., Yoshihara, K., Van Landuyt, K., Yoshida, Y., & Peumans, M. (2020). From Buonocore's Pioneering Acid-Etch Technique to Self-Adhering Restoratives. A Status Perspective of Rapidly Advancing Dental Adhesive Technology. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 22(1), 7–34. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a43994>
- Vinagre, A., & Ramos, J. (2016). Adhesion in restorative dentistry. In *InTech eBooks*. <https://doi.org/10.5772/65605>
- Yuan, X., Wang, Q., Han, F., Chen, C., & Xie, H. (2021). Chemical interaction between 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate and methacryloxypropyltrimethoxysilane in one-bottle dental primer and its effect on dentine bonding. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials/Journal of Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 121, 104610. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104610>
- Zhao, X. Y., Li, S. B., Gu, L. J., & Li, Y. (2014). Detection of marginal leakage of Class V

restorations in vitro by micro-computed tomography. Operative Dentistry, 39(2), 174–180.
<https://doi.org/10.2341/12-182-L>

ANEXOS

Anexo 1 – Parecer positivo para a utilização do laboratório de biomateriais da Egas Moniz *School of Health & Science* (Plataforma myagir).

PT-280/23 Proposta de Tese registada por Eloise Briquet a 02/11/2023

Workflow **Proposta de Tese** Tipo **Proposta de Tese** Data de Emissão 02/11/2023

Formulário de submissão	Dados dos orientadores	Documentos para Comissão de Ética	Parecer Orientação	ROT	Direção Clínica	Direção de Laboratórios	PCC	PC
Comissão de Ética								

[Lista de pareceres dos Laboratórios](#)

Tipo de parecer	Laboratório	Link	Atual	Estado
Parecer Laboratório	Mário Polido	Ver PL	Sim	Parecer positivo

Anexo 2 – Parecer da autorização da Comissão Ética da Egas Moniz *School of Health & Science*.



EGAS MONIZ SCHOOL
of HEALTH & SCIENCE

Comissão de Ética EGAS MONIZ

Plataforma: PT-280/23

Processo Interno nº 1336

Ex.ma Senhora

Eloise Maurine Briquet

Monte de Caparica, 25 de janeiro de 2024.

Ex.ma Senhora,

Em resposta ao Pedido de Parecer que submeteu à apreciação da Comissão de Ética da Egas Moniz, com o tema denominado: **“Avaliação da microinfiltração em restaurações diretas com um sistema adesivo universal low cost”**, foi aprovado.

A Presidente da Comissão de Ética da Egas Moniz

Profª Doutora Cidália de Castro

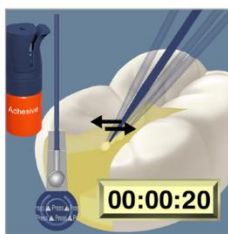
Anexo 3 – Instruções do Sistema Adesivo Scotchbond Universal® (3M ESPE, St. Paul, EUA).

<https://multimedia.3m.com/mws/media/1454171O/3m-scotchbond-universal-adhesive-technique-guide.pdf?&fn=Scotchbond-Technique-ePDFR1.pdf>, acedido dia 20/12/2023.



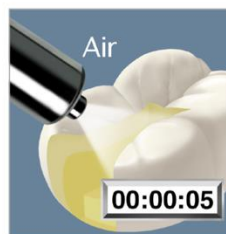
7

Direct Restorations*



①

Following the selective enamel etch or total etch of the enamel and dentin, apply the adhesive to the prepared tooth and rub it in for 20 seconds.



②

Gently air dry the adhesive for approximately 5 seconds to evaporate the solvent.



③

Light cure for 10 seconds.

Anexo 4 – Instruções de utilizações do fabricante do Sistema Adesivo Universal Máxima Natural Elegance 7 Universal[®] (HenrySchein, Service GmbH, Langen, Alemanha).

Maxima[®] by HENRY SCHEIN[®]

Maxima[®] by HENRY SCHEIN[®]

Instruções de utilização

PT

Definição

MAXIMA NATURAL ELEGANCE 7 UNIVERSAL é um agente adesivo de um único componente, universal, fotopolimerizável, para a técnica de restauração adesiva, aplicável com a técnica autocondicionante, de condicionamento seletivo ou de condicionamento total.

Composição
Metacrilatos
Fotoiniciadores
Etanol
Água

Indicações

MAXIMA NATURAL ELEGANCE 7 UNIVERSAL é indicado para:

- Obtenção direta com materiais compostos ou compomeros
- Ligação adesiva de restaurações indiretas (inlays, onlays, facetas e coroas) de cerâmica ou composto
- Ligação adesiva de composto a cerâmica, composto, metal e amalgama
- Selagem da dentina
- Para ser utilizado exclusivamente com materiais adesivos fotopolimerizáveis/compostos.

Técnicas de aplicação

- a) Autocondicionamento: aplique MAXIMA NATURAL ELEGANCE 7 UNIVERSAL diretamente no esmalte e na dentina
- b) Condicionamento seletivo: condicione primeiro o esmalte. Em seguida, aplique MAXIMA NATURAL ELEGANCE 7 UNIVERSAL no esmalte e na dentina.
- c) Condicionamento total: condicione primeiro o esmalte e a dentina. Em seguida, aplique MAXIMA NATURAL ELEGANCE 7 UNIVERSAL no esmalte e na dentina.

Contraindicações

Hipersensibilidade comprovada aos componentes de MAXIMA NATURAL ELEGANCE 7 UNIVERSAL. Higiene oral inadequada. Se for impossível manter a área de trabalho seca.

Efeitos secundários

Os componentes de MAXIMA NATURAL ELEGANCE 7 UNIVERSAL podem causar sensibilidade em pessoas com predisposição para a mesma.

Interações

Evitar o contacto de MAXIMA NATURAL ELEGANCE 7 UNIVERSAL com materiais contendo fenóis e outras substâncias que inibam a polimerização (p. ex., óxido de zinco-eugenol).

Aplicações

1. Obtenção direta

1.1 Preparação de cavidades

De acordo com o princípio da técnica de restauração adesiva. Para proteger a polpa, deve ser aplicada junto desta uma pequena quantidade de cimentos de hidróxido de cálcio de secagem dura. Volte a finalizar o esmalte com uma broca de diamante. Em caso de esmalte não cortado, condicione com gel de ácido fosfórico ou limpe com pedra pómes. Em seguida, enxague completamente com água e seque o esmalte cuidadosamente. Para o isolamento, recomendamos a utilização de um dique de borracha.

1.2 Condicionamento

- a) Não é necessário um condicionamento na técnica autocondicionante.
- b) Para a técnica de condicionamento seletivo: condicione somente o esmalte. E para
- c) Técnica de condicionamento total: condicione o esmalte e a dentina.

Aplique para b) e c) o gel de ácido fosfórico de acordo com as instruções de utilização do fabricante. A seguir, enxague bem e verifique se não ficam resíduos. Seque a cavidade com ar isento de óleo. Importante: não dessecar a dentina.

1.3 Aplicação

Frasco:

Agite bem o frasco antes de utilizar. Dispense uma gota de MAXIMA NATURAL ELEGANCE 7 UNIVERSAL no recipiente de mistura e aplique na cavidade com o aplicador descartável. Esfregue a superfície durante 20 s e seque cuidadosamente com ar isento de óleo durante 5 s. Polimerize durante 10 s (fotopolimerização com halógeno ou LED com uma intensidade da luz > 800 mW/cm²). Uma intensidade de luz menor exige mais tempo de exposição. Nota: evite a acumulação de agentes adesivos. Isso pode prejudicar a precisão do ajuste.

1.4 Restauração de composto ou compomero

Utilize o material de restauração de acordo com as instruções de utilização do fabricante.

2. Ligação adesiva de inlays, onlays, facetas e coroas

Importante: para a utilização do MAXIMA NATURAL ELEGANCE 7 UNIVERSAL, é preciso garantir que penetra luz incidente suficiente por toda a restauração. De acordo com as especificações do fabricante.

2.1 Preparação da restauração O procedimento depende do material e deve obedecer as instruções de utilização do fabricante.

2.2 Preparação de cavidades De acordo com o passo 1.1

2.3 Condicionamento De acordo com o passo 1.2

2.4 Aplicação De acordo com o passo 1.3

2.5 Cimentação De acordo com as instruções de utilização do fabricante.

3. Ligação adesiva a outros materiais

3.1 Preparação da cerâmica De acordo com as instruções de utilização do fabricante.

3.2 Preparação do metal e da amalgama De acordo com as instruções de utilização do fabricante. A seguir, limpe com um equipamento de limpeza a vapor ou acetona e seque com ar isento de óleo.

3.3 Preparação do material composto

Desgaste a superfície com uma broca de diamante ou um jato de areia com óxido de alumínio de 50 µm. Limpe a superfície (p. ex., com ácido fosfórico), enxague e seque com ar isento de óleo.

3.4 Aplicação

Aplique MAXIMA NATURAL ELEGANCE 7 UNIVERSAL na superfície com o aplicador descartável. Esfregue a superfície durante 20 s e seque cuidadosamente com ar isento de óleo durante 5 s. Polimerize durante 10 s (fotopolimerização com halógeno ou LED com uma intensidade da luz > 800 mW/cm²). Uma intensidade de luz menor exige mais tempo de exposição. Nota: evite a acumulação de agentes adesivos. Isso pode prejudicar a precisão do ajuste.

4. Selagem da dentina

De acordo com os passos 1.1, 1.2 e 1.3.

Medidas de emergência, sintomas, antídotos

Em caso de contacto direto com a mucosa oral, basta enxaguar. Em caso de contacto com os olhos, enxague bem. Procure ajuda médica para avaliação e tratamento subsequente.

Notas

Proteja o adesivo dispensado de luz usando a tampa do recipiente de mistura. Fornecimento exclusivo a dentistas e técnicos de laboratórios ou sob instruções destes. Manter fora do alcance das crianças! Elimine apenas embalagens completamente vazias.

Prazo de validade e rotulagem

O prazo de validade e o número de LOT podem ser encontrados na embalagem exterior. Não utilizar o produto depois do prazo de validade.

Armazenamento

4 - 8 °C / 39 - 46 °F Não expor a luz solar direta ou outras fontes de calor.

Conselhos de higiene

Para as melhores condições de higiene na utilização do MAXIMA NATURAL ELEGANCE 7 UNIVERSAL, recomendamos as seguintes instruções:

- Aplicadores descartáveis devem ser usados apenas num único paciente.
- Feche o frasco imediatamente após a utilização. A limpeza deve ser feita com desinfetantes normais.

Data de publicação das instruções de utilização

12-2018

Anexo 5 – Composição do Sistema Adesivo Scotchbond Universal® (3M ESPE, St. Paul, EUA).

<https://multimedia.3m.com/mws/media/1279638O/3m-scotchbond-universal-adhesive.pdf>

3M™ Scotchbond™ Universal Adhesive
MDP Phosphate Monomer
Dimethacrylate resins
HEMA
Vitrebond™ Copolymer
Filler
Ethanol
Water
Initiators
Silane

Anexo 6 – Composição do Sistema Adesivo Universal Máxima Natural Elegance 7 Universal[®] (HenrySchein, Service GmbH, Langen, Alemanha) nas instruções de utilização.

Composicao
Metacrilatos
Fotoiniciadores
Etanol
Agua