



RESTAURAÇÃO DE DENTES COM AMPLA DESTRUIÇÃO CORONÁRIA APLICADA A BIOMIMÉTICA – REVISÃO DE LITERATURA

Deborah Pereira Cardoso Costa¹, Giovanna Oliveira Ceranto¹, César Aurélio Zaze².

<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2024v6n10p1470-1496>

 Artigo recebido em 30 de Julho e publicado em 12 de Outubro de 2024

REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

Nos últimos anos um consenso tem caracterizado as abordagens restauradoras de dentes naturais: a preservação extrema do tecido dentário. A odontologia biomimética visa imitar a estrutura e a função naturais dos dentes. Esta é uma abordagem que visa imitar a estrutura e a função dos dentes naturais para criar tratamentos dentários que preservem e imitem as propriedades naturais dos dentes. Um elemento essencial dessa abordagem é o uso adequado de adesivos dentários, que é crucial para garantir a integração eficaz entre os materiais restauradores e a estrutura dentária original. Apesar dos avanços significativos nos protocolos adesivos atuais, que oferecem técnicas e materiais de alta confiabilidade, muitos tratamentos ainda são planejados com o uso de preparos dentários excessivos. Conclui-se que os protocolos de tratamento baseados na adesão, quando corretamente aplicados, apresentam um alto índice de sucesso a longo prazo. Esses protocolos têm promovido uma abordagem mais conservadora, focada na remoção apenas do material contaminado e na preservação máxima da estrutura dentária remanescente. Essa estratégia minimiza os efeitos negativos sobre a resistência estrutural do dente, assegurando uma maior longevidade das restaurações e promovendo tratamentos mais eficientes e menos invasivos.

Palavras-chave: junção amelodentinária; biomimética; endodontia.



RESTORATION OF TEETH WITH EXTENSIVE CORONAL DESTRUCTION APPLIED TO BIOMIMETICS – LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

In recent years, a consensus has characterized restorative approaches to natural teeth: extreme preservation of dental tissue. Biomimetic dentistry aims to mimic the structure and function of natural teeth. This is an approach that aims to mimic the structure and function of natural teeth to create dental treatments that preserve and mimic the natural properties of teeth. An essential element of this approach is the appropriate use of dental adhesives, which is crucial to ensure effective integration between restorative materials and the original tooth structure. Despite significant advances in current adhesive protocols, which offer highly reliable techniques and materials, many treatments are still planned with the use of excessive tooth preparation. It is concluded that treatment protocols based on adhesion, when correctly applied, have a high rate of long-term success. These protocols have promoted a more conservative approach, focused on removing only contaminated material and maximizing the preservation of the remaining tooth structure. This strategy minimizes the negative effects on the structural resistance of the tooth, ensuring greater longevity of the restorations and promoting more efficient and less invasive treatments.

Keywords: dentinoenamel junction; biomimetics; endodontics.

Instituição afiliada – Universidade Paranaense

Autor correspondente: Deborah Pereira Cardoso Costa dehcardoso@gmail.com

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).





INTRODUÇÃO

Segundo Pascal (2016), nos últimos anos um consenso tem caracterizado as abordagens restauradoras de dentes naturais: a preservação extrema do tecido dentário. A máxima "MENOS É MAIS" reflete a compreensão de que o esmalte e a dentina exigem extremo respeito, pois são obras-primas naturais, que não podem ser criadas pelo homem. Assim, cabe ao clínico manter o equilíbrio biológico, a função, a mecânica e a estética do dente, garantindo que as restaurações estejam em harmonia com os tecidos naturais. Para isso, a chamada “abordagem biomimética”, conhecida por buscar ao máximo imitar o dente em seus planos de tratamento, tem como maior valor o estudo, em todos os aspectos, do dente natural.

O esmalte é um tecido frágil, porém, resistente ao desgaste. Enquanto a dentina é resiliente, porém, não resistente ao desgaste. A junção destes tecidos, com módulos de elasticidade diferentes, requer uma fusão complexa para proporcionar ao dente a capacidade de se proteger e manter sua longevidade. Isso é possível graças a junção amelodentinária (JAD). É justamente através da mimetização da JAD, através das técnicas de sistema adesivos, que na abordagem biomimética, o conceito de preparos para resistência e retenção pode ser questionado. Portanto, o princípio biomimético exige um conhecimento aprofundado dos conceitos de adesão, onde a dentina é o ponto mais desafiador (Magne; Belser, 2022).

Até por conta disso, outro elemento fundamental é não deixar que outros materiais e procedimentos interfiram na qualidade de adesão à dentina. Ou seja, devemos proteger a camada híbrida através do modo de aplicação e colagem da resina, assim como a polimerização. Um simples exemplo; um adesivo fino demais corre o risco de ser polimerizado de maneira insuficiente. Também para se evitar falhas na adesão sobre preparos, é necessário pôr em prática o selamento dentinário imediato (SDI). Uma aplicação sistemática da técnica de selamento imediato foi descrita e mais de 20 vantagens foram listadas por Magne e Belser (2022).

Existem consequências significativas advindas da abordagem biomimética, desde soluções restauradoras minimamente invasivas e preservação de tecido dentário saudável até aspectos socioeconômicos. Sem contar nas perspectivas para o futuro da odontologia restauradora. Existem diversos estudos *in vitro* em andamento



questionando o uso dos pinos radiculares, mesmo na presença de dentes anteriores ou posteriores não-vitais sem férula. Um domínio absoluto das técnicas de adesão e a utilização das novas ferramentas CAD/CAM acelerarão a extinção gradual dos conceitos antigos baseados em preparos dentários com forma de resistência e retenção mecânica. Nas palavras de Pascal (2012):

O uso de CAD/CAM e tecnologia crescerá, e espero pelo melhor, o que significa que deve ser usado apenas como uma ferramenta adicional em nosso arsenal e não como uma desculpa para tratar mais. Acredito que pararemos de usar pinos, coroas, ligas metálicas e endodontia intencional – isso já aconteceu para muitos de nós que acreditamos na abordagem biomimética (Pascal, 2012, p. 190, tradução nossa).

REVISÃO DE LITERATURA

DENTES AMPLAMENTE DESTRUÍDOS

Não raramente, o dentista pode se deparar com dentes gravemente comprometidos que exigem tratamentos extensivos e com prognóstico incerto a médio ou longo prazo. Dentes tratados endodonticamente frequentemente necessitam de trabalhos reconstrutivos; alguns são facilmente reparados, enquanto outros são mais desafiadores devido à grande perda de estrutura dentária. Para garantir a manutenção a longo prazo, a terapia com coroa ou pinos intrarradiculares pode ser uma opção restauradora. Uma abordagem multidisciplinar é recomendada para casos com comprometimento severo por perda de substância dentária e patologia endodôntica ou periodontal. Se isso não for possível, o paciente deve ser informado sobre as opções de tratamento finais, como extração e substituição por implante ou prótese parcial removível. O uso de implantes indiscriminadamente deve ser desencorajado, assim como a conservação excessiva sem uma avaliação crítica de resultados bem-sucedidos (Ricucci; Grosso, 2006).

Dentes tratados endodonticamente têm maior propensão a falhas biomecânicas devido à perda de tecido, resistência, umidade e flexibilidade, causadas pela cavidade de acesso e preparos endodônticos. Mesmo com avanços nos materiais restauradores, fraturas radiculares ainda são comuns em dentes tratados endodonticamente. Sendo a preservação da estrutura dentária o melhor método para prevenir essas fraturas (Madfa, 2023).



PINOS INTRARRADICULARES

Existem condições em que o remanescente coronário necessita de uma retenção intrarradicular para promover retenção a restauração direta ou indireta. Geralmente são dentes tratados endodonticamente, que apresentem considerável destruição da porção coronária devido a fraturas, lesões cariosas, restaurações ou tratados com um acesso endodôntico incorreto (Bassotto *et al.*, 2017).

Oliveira *et al.* (2018) descrevem que dentes com destruição coronária expansiva, requerem um procedimento de restauração que proteja e ao mesmo tempo, fortaleça o remanescente que prevalece sadio. E que nesta direção, diversos fatores podem influenciar a seleção de pinos intrarradiculares. A indicação, forma de preparo e materiais devidamente selecionados, deve seguir uma avaliação criteriosa, garantindo resistência aos dentes reforçados.

A evolução dos materiais utilizados na odontologia trouxe novas abordagens mais práticas e com resultados estéticos superiores para restaurar dentes tratados endodonticamente. Durante muitos anos, os núcleos metálicos fundidos foram a escolha principal para a restauração de dentes que perderam sua estrutura coronária após o tratamento endodôntico. No entanto, além de serem inestéticos, esses materiais possuem um alto módulo de elasticidade, o que pode resultar em fraturas irreversíveis do remanescente radicular (Petyk *et al.*, 2023).

Hoje, é mais frequente o uso de pinos pré-fabricados, por ser um procedimento mais simples e mais rápido, além de garantir a manutenção da cadeira asséptica por permitir o selamento do canal radicular imediatamente após o tratamento endodôntico (Ramos-Júnior; Miranda, 2011).

Os pinos de fibra de vidro foram ganhando destaque na odontologia, tanto por suas vantagens estéticas quanto por suas propriedades mecânicas. A rigidez dos pinos metálicos e cerâmicos, que apresentam aproximadamente 210 GPa, pode levar à fraturas verticais da raiz. Em contraste, os pinos pré-fabricados de fibra de vidro foram desenvolvidos para não termos esse problema, visto que apresenta um módulo de elasticidade em torno de 40 GPa, mais próximo do módulo de elasticidade da dentina,



que é de 18 GPa, resultando em uma melhor distribuição das forças aplicadas e uma menor probabilidade de fraturas radiculares (Martelli, 2000).

Ramos Junior e Miranda (2011) deixam claro que a retenção passiva desses sistemas depende do comprimento e da adaptação do pino dentro do canal radicular, com uma fina linha de cimentação. Os autores recomendam que os profissionais observem, com base em radiografias, a presença de pelo menos 1 mm de dentina ao redor do pino na região apical, além do remanescente coronário, de no mínimo 2 mm. Isso para garantir que a peça protética esteja totalmente apoiada no dente, assegurando que a dissipação das cargas mastigatórias se direcione às paredes externas da raiz. Tal medida evita que a carga incida diretamente sobre o pino, provocando o efeito de alavanca nas paredes internas do canal, que pode levar ao deslocamento da restauração e fratura radicular.

Em estudo transversal conduzido por Bassotto *et al* (2017), os autores analisaram 1000 radiografias periapicais de dentes unirradiculares que receberam tratamento endodôntico e retentores intrarradulares metálicos fundidos. Eles relataram que apenas 6,7% foram confeccionados satisfatoriamente. Observou-se que em 86,5% dos casos, houve desrespeito a regra básica de deixar que o pino ocupe 2/3 do comprimento do pino no canal radicular. Nestes casos, o pino pode causar deslocamento e forças inadequadas, aumentando as chances de fratura radicular. Sendo que em 48,1% dos casos, apresentaram espaço um espaço inaceitável entre o pino e a obturação: de 0,2mm a 6,225mm.

Stankiewicz e Wilson (2008) definem o “efeito férula” como um complexo que deixa a relação entre dente e restauração mais forte. É obtida quando a dentina supramarginal de um dente obturado é envolvida por uma coroa. O estudo feito por De Lima *et al.* (2010), avaliaram o impacto da preparação de férula de 2 mm e do uso de pinos de fibra de vidro na resistência à fratura de dentes tratados endodonticamente. A pesquisa indicou que a presença de férula melhora significativamente a resistência à fratura, independentemente do uso de pinos de fibra de vidro. Ou seja, pinos de fibra de vidro, por si só, não aumentaram significativamente a resistência à fratura.

Embora a presença de uma férula seja considerada essencial para a eficácia das restaurações de pino e núcleo, muitos dentes extensamente danificados não possuem

férulas completas. Diante do resultado dessas restaurações serem incertos, Xiang *et al.* (2024) estudaram 100 participantes, que juntos, totalizaram 130 dentes tratados endodonticamente com duas ou menos paredes com férulas que receberam núcleos e pinos de liga de metal fundido em 2013. A taxa de sucesso das restaurações foi de 93,85%. Observou-se neste estudo que principais falhas foram por fratura radicular e descolagem de pinos.

Dutra e Neppelenbroek (2022) relataram que a maioria dos autores concordam que a presença de férula aumenta significativamente a resistência dos dentes tratados endodonticamente, resultando em maior longevidade das reabilitações protéticas. As repercussões incluem uma redução significativa do risco de fratura desses dentes, tornando a férula um componente essencial para prolongar a vida útil dos dentes restaurados. Tem sido recomendada a confecção de uma férula com altura uniforme de 2 mm e espessura superior a 1,5 mm. Os autores concluem também que embora ainda haja contradições, a maioria dos estudos apontam que o uso de pinos de fibra de vidro é a melhor opção por serem mais previsíveis e quando falham, são mais passíveis de retratamento.

Naumann *et al.* (2005) relataram que a taxa anual de falha de restaurações com pinos de fibra de vidro é de 6,7% e que os principais fatores de risco identificados incluem o tipo de dente, sendo os anteriores mais susceptíveis, assim como os que estão sem contatos proximais. Além disso, sugerem que a proporção de dentes com férulas circunferenciais com menos de 2 mm pode alterar a resistência a fratura.

O estudo de Madfa (2023) explica que pinos metálicos, devido ao seu alto módulo de elasticidade, não permitem que o tecido dentinário, que é menos rígido, absorva a energia do estresse ou suporte tensões de compressão oblíquas, aumentando a probabilidade de fraturas radiculares. A rigidez dos pinos metálicos resulta em maior tensão de tração dentro do pino, especialmente sob carga oblíqua. Já os pinos de fibra de vidro distribuem melhor a tensão e colocam menos estresse na dentina, embora tenham menor resistência à fratura comparado aos pinos metálicos. Concluindo que pinos de fibra de vidro são uma alternativa viável aos pinos metálicos, pois têm propriedades semelhantes às da dentina.



Costa *et al.* (2022) concordam que a tecnologia CAD-CAM permite fabricar pinos de fibra de vidro mais anatômicos e com melhor ajuste, o que pode melhorar a resistência à fratura e a resistência de união. Visto que a descolagem de pinos de fibra de vidro é uma falha comum, influenciada pelo comprimento e diâmetro do pino e pelo tipo de cimento utilizado. Entretanto, também concluem que literatura atual é insuficiente para conclusões definitivas sobre sua eficácia em comparação com pinos pré-fabricados.

Por conta disso, uma revisão sistemática com metanálise buscou analisar falhas e padrões resistência a fraturas em pinos com e sem customização. A revisão indica que não foi sido observada diferença estatisticamente significativa na resistência à fratura e no padrão de falha entre pinos customizados com pinos auxiliares de fibra ou resina composta e pinos não customizados (SILVA *et al.*, 2021).

Campos *et al.* (2024) também realizaram uma metanálise com análise sistemática sobre o tema e concluíram de forma um pouco semelhante. Eles relatam que pinos de fibra de vidro feitos e personalizados por CAD-CAM oferecem uma opção eficaz e segura para restaurar dentes tratados endodonticamente, especialmente para dentes enfraquecidos ou canais radiculares dilatados. No entanto, recomenda-se mais pesquisas clínicas bem planejadas para fortalecer essas descobertas, pois a literatura é insuficiente para maiores conclusões.

Em um estudo recente, Carvalho *et al.* (2022) realizaram um estudo para comparar a sobrevivência e o modo de falha de incisivos tratados endodonticamente sem férula. Quatro grupos foram formados, testando restaurações com diferentes materiais de base adesiva sem pinos, além de um grupo controle que utilizava pinos de fibra de vidro. Todos os dentes foram preparados para receber coroas cerâmicas de dissilicato de lítio, coladas com cimento resinoso de polimerização dupla. Os resultados mostraram que as restaurações sem pinos, especialmente as reforçadas com fibra, apresentaram melhor desempenho e menos falhas catastróficas em comparação com aquelas que utilizavam pinos de fibra de vidro. Os autores concluíram que evitar o uso de pinos pode aumentar a durabilidade das restaurações e reduzir o risco de falhas irreparáveis.



“Mais forte e mais rígido nem sempre é melhor” (Magner; Belser 2022). O que os autores querem dizer é que a escolha de um material menos rígido em diversas situações pode ser preferível ao considerarmos o risco de lesões radiculares. E que hoje, através de uma eficiente adesão entre dentina e esmalte, os pinos intrarradiculares são desnecessários:

[...a falta de consenso sobre o uso de pinos intrarradiculares é ainda mais complicada pelo fato de que o real propósito da colocação dos pinos não é aumentar a resistência da raiz, mas sim fornecer retenção mecânica para o núcleo. Nas últimas décadas, a retenção mecânica foi progressivamente substituída por adesão e esta tendência prejudicou logicamente o uso de pinos ao usar selamento dentinário imediato e coroas adesivas, mesmo para incisivos tratados endodonticamente. Já se provou que os pinos não fazem diferença em dentes posteriores sem férula e em dentes anteriores com uma férula. Novas evidências estão inclusive sugerindo que os pinos podem não ser necessários em dentes anteriores severamente danificados sem uma férula porque aumentam seriamente o risco de fraturas catastróficas (Pascal; Belser, 2022, p. 610).

Deliperi, Alleman e Rudo (2017) explicam que a necessidade de retenção mecânica, como pinos intrarradiculares cria concentrações de tensão, enfraquecendo a estrutura dentária e aumentando o risco de fissuras. Portanto, nas últimas duas décadas, novos protocolos restauradores foram desenvolvidos para usar sistemas adesivos modernos e preservar a estrutura dentária saudável.

O estudo de Biacchi e Basting (2012) relata que a técnica “endocrown” pode ser uma alternativa preferível às coroas convencionais com pinos de fibra de vidro, oferecendo boa resistência à fratura e preservação de estrutura dentária.

CONCEITO DE ODONTOLOGIA BIOMIMÉTICA

A odontologia biomimética visa imitar a estrutura e a função naturais dos dentes. Conceitos da odontologia restauradora biomimética permitem restaurar a integridade mecânica, estrutural e estética dos dentes, respeitando ao máximo as estruturas biológicas como a polpa e tecidos periodontais. Com objetivo de criar uma restauração que seja compatível com as propriedades mecânicas, biológicas e ópticas dos tecidos dentários subjacentes. Utilizando materiais e técnicas que preservam e restauram o tecido dentário com mínima invasão. Neste contexto, Schlichting *et al.*



(2013) descrevem os dentes naturais como uma obra de beleza atemporal, com desempenho mecânico insuperável e ressaltam que muitos dos materiais utilizados na prática odontológica se assemelhem aos dentes, mas nenhum se comporta exatamente como o tecido natural. E que nos últimos anos, um esforço significativo para compreender a estrutura dentária, inalterada ao longo de tantos anos, trouxe a pesquisa biomimética para o centro das atenções.

Embora os padrões de doenças bucais tenham sido alterados ao longo do tempo, a estrutura original do esmalte e da dentina parece ser a mesma desde 5.000 ou 6.000 anos atrás. “Mimética”, no campo da ciência, tem como objetivo reproduzir ou copiar um determinado modelo que tenha de referência. No contexto da odontologia restauradora, o dente natural intacto é a referência indiscutível. Neste contexto, é recomendável estudar e compreender o estudo dos dentes antes de considerar quaisquer outros conceitos em odontologia restauradora. Lembrando que o desempenho fisiológico dos dentes intactos é o resultado de uma relação íntima e equilibrada entre os parâmetros biológicos mecânicos e funcionais. Sendo a estética, o resultado desta relação: [“...a biologia é, sem dúvida, o elemento dominante nesta equação, e todos os esforços devem ser direcionados à preservação da vitalidade dentária.”] (Magne; Belser, 2022, p. 2).

DENTE NATURAL

Os dentes desempenham diversas funções essenciais, incluindo mastigação, proteção, sustentação dos tecidos moles adjacentes, fonação e estética. Eles são fixados aos ossos através de fibras colágenas que formam o ligamento periodontal, promovendo a união entre a raiz do dente e seu alvéolo. Essas fibras são responsáveis por transformar as forças de pressão sobre o dente em tração no osso (Madeira; Rizzolo, 2016).

Thompson, (2020) explica suas estruturas. O esmalte dentário é altamente mineralizado, caracterizando-se por sua dureza, rigidez e resistência ao desgaste. No entanto, é considerado um material frágil. Ele é sustentado pela dentina, tanto mecanicamente quanto bioquimicamente, que é menos mineralizada, mais macia e mais complacente em comparação ao esmalte. A dentina, por sua vez, é mantida pela



polpa dentária, um tecido composto por células e feixes vasculonervosos. A união entre a dentina e o esmalte ocorre através de uma zona de transição biomecânica denominada junção amelocementária (JAD).

A distribuição de estresse nos dentes é essencial para a manutenção da integridade e funcionalidade dentária. O esmalte, a JAD e a dentina trabalham em conjunto para dissipar as forças aplicadas durante a mastigação (Milicich; Rainey, 2000).

O esmalte é constituído por 96% de material inorgânico ou mineralizado, 1% de material orgânico e 3% de água. Sua formação cristalina é constituída principalmente de hidroxiapatita, semelhante àquela encontrada em menor quantidade no osso, dentina e cimento, mas que ficam dispostas em diferentes ângulos ao longo da área da coroa. Os bastões, ou prismas de esmalte, são as unidades estruturais cristalinas do esmalte consideradas a unidade básica do esmalte. A maioria deles se estende desde perpendicularmente à JAD até a sua superfície externa, variando em comprimento, dependendo onde estão situados (Bath-Balogh; Fehrenbach, 2008).

Giannini, Soares e Carvalho (2004) atribuem a dureza do esmalte ao seu alto conteúdo mineral. Já a propriedade frágil é devida ao seu alto módulo de elasticidade e de baixa resistência à tração. Tais propriedades mecânicas são diferentes, dependendo do tipo e da direção da tensão aplicada, bem como da orientação plasmática. Segundo Merlo (2020), o módulo de elasticidade do esmalte é estimado em ~95 GPa. E para Varghese *et al.* (2024) o esmalte apresenta coeficiente de expansão térmica de $\sim 17,0 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}$.

Thompson (2020) descreve que os prismas do esmalte dentário são mantidos unidos por uma fina camada orgânica conhecida como "bainha do prisma". Foi demonstrado que, quando o esmalte é submetido a pressão até o ponto de fratura, as trincas resultantes tendem a se propagar preferencialmente através da bainha do prisma, contornando os prismas ao longo do seu percurso. Além disso, foi observado que a remoção dessa bainha leva ao início de trincas sob cargas mais baixas, pois a tenacidade à fratura é reduzida em 40%, justamente por não desviar os caminhos das fissuras.



Na superfície do esmalte, existe uma camada de esmalte aprismático, ou seja, mais mineralizada, sem prisma e sem conteúdo, conseqüentemente, é mais frágil. Essa camada é normalmente encontrada nas superfícies cervicais e dentro do sistema de fissuras (Magne; Belser, 2022). Supõe-se que essa zona seja resultado da mastigação, das condições salivares, da recalcificação ou até mesmo criada durante a morfogênese (Thompson, 2020).

Giannini, Soares e Carvalho (2004) explicam que o esmalte é um material anisotrópico, cujas propriedades mecânicas dependem do tipo e da direção da tensão aplicada, bem como da orientação dos prismas. Estudos demonstraram que o limite de resistência à tração do esmalte é significativamente maior quando testado paralelamente à orientação dos prismas (42,2 MPa) em comparação com quando testado transversalmente a essa orientação (11,0 MPa).

A Teoria do Anel Periférico suportada por Milicich e Rainey (2000), destaca a função do esmalte na borda dos dentes como um suporte crítico para distribuir cargas mecânicas. O anel periférico funciona como um anel de tensão, essencial para a resistência estrutural dos dentes. Comparado a uma xícara de chá invertida que suporta cargas significativas, o anel periférico permite que o esmalte suporte cargas verticais sem falhas, desde que a carga seja uniformemente distribuída. Restaurações convencionais podem alterar essa distribuição, comprometendo a integridade estrutural do dente e levando a fraturas e cáries.

A dentina é um compósito biológico hidratado composto por 70% de material inorgânico, 18% de matriz orgânica e 12% de água, com propriedades e componentes estruturais que variam conforme sua localização. Desta forma, diferentes tipos de dentina podem ser considerados de acordo com suas relações com os túbulos dentinários (Giannini; Soares; Carvalho, 2004).

Uma das formas é de acordo com sua localização entre a JAD e a polpa. A dentina do manto é a primeira a ser formada, com fibras colágenas posicionadas perpendicularmente à JAD, são mais mineralizadas que as partes mais profundas da dentina, denominadas como dentina circumpulpar. Diferente do esmalte, a aposição de dentina ocorre durante a vida toda, em virtude da retenção dos odontoblastos que circundam a polpa. Portanto, também podem ser classificadas com o momento em



que é formada no interior do dente: dentina primária, dentina secundária ou dentina terciária ou reparadora (Bath-Balogh; Fehrenbach, 2008).

Os túbulos dentinários fazem parte de toda estrutura da dentina, desde a JAD até a polpa. Dentro deles estão os processos odontoblásticos que se estendem desde os odontoblastos que revestem a polpa, envoltos pelo fluido dentinário. A dentina que forma a parede do túbulo dentinário é denominada dentina peritubular, altamente mineralizada. Já a dentina intertubular, que se encontra entre os túbulos dentinários, é bastante mineralizada, porém menos que a dentina peritubular. A densidade dos túbulos dentinários aumenta à medida que se aproxima da polpa, enquanto a quantidade de dentina intertubular diminui. No entanto, esse aumento não se traduz necessariamente em maior dureza, devido à variação do conteúdo mineral da dentina da JAD até a polpa, influenciada pela redução do tamanho das partículas de hidroxiapatita com a profundidade (Thompson, 2020).

A menor densidade mineral na dentina está correlacionada com uma redução na dureza quando comparada ao esmalte. Além disso, o colágeno tipo I reforçado com apatita presentes na dentina intertubular contribui significativamente para um módulo de elasticidade inferior. Através dos testes de resistência máxima à tração, foi identificado que a profundidade da dentina influencia sua capacidade de resistência. A dentina superficial apresentou maior resistência (61,64 MPa), enquanto diminui à medida que se aproxima da polpa; (48,7 MPa) dentina média e (33,9 MPa) dentina profunda. (Giannini; Soares; Carvalho, 2004). Huang *et al* (2019) ressalta que a tenacidade à fratura da dentina é aproximadamente 5 vezes maior que a do esmalte, mas é 10 vezes menos dura.

Thompson (2020) acrescenta que a dentina intertubular radicular tem módulo de elasticidade e dureza reduzidos em comparação com a dentina intertubular coronal, e que substituir a água na dentina por solventes menos polares, como o etanol, aumenta a tenacidade à fratura. Destacando também que, conforme envelhecemos, essa tenacidade é reduzida. Entretanto, Merlo (2020) relata que não houve diferença nos resultados que obteve ao comparar o módulo de elasticidade entre a dentina jovem e de idade avançada e que a diferença entre os valores que encontramos na literatura (10,4 GPa a 30 GPa) é devido a heterogenicidade do tecido,

pois sua composição é diferente conforme localização. Seus resultados neste estudo, apresentam o resultado médio de módulo de elasticidade da dentina de 18,36 GPa a 24,75 GPa. Quanto ao coeficiente de expansão térmica, a dentina apresenta $\sim 10,6 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}$ segundo Varghese e autores (2024).

Estudos mostram que dentes intactos absorvem mais energia de fratura que dentes restaurados com diferentes tipos de restaurações. Magne e Belser (2022) atribuem essa capacidade à dentina, devido a sua flexibilidade e explicam que esta propriedade mecânica em um material, permite que absorva energia de uma força, amortecendo impactos ao dobrar-se elasticamente. No entanto, a dentina sozinha, sem a camada rígida de esmalte, seria funcionalmente inadequada. Seria uma estrutura muito maleável sem a rigidez do esmalte. Portanto, o compromisso perfeito entre os dois é que resulta em essa incomparável rigidez, resistência e resiliência. Ressaltando que procedimentos restauradores e alterações na integridade estrutural do dente podem violar este equilíbrio.

Para Bath-Balogh e Fehrenbach (2008), a JAD é simplesmente uma crista entre esmalte maduro e dentina, que proporciona elevada aderência entre eles, aumentando também sua a resistência. Já Kuczumow *et al.* (2021) mencionam o quanto a JAD tem atraído a atenção de cientistas interessados há anos em determinar sua estrutura e seu papel na integridade dental. Afinal, este pequeno fragmento do dente consegue evitar o deslizamento das camadas entre si, ao mesmo tempo em que impede a propagação das pressões mecânicas na dentina. Embora seja muito fina, a JAD é extremamente complexa com diferentes propriedades morfológicas, químicas e mecânicas, tanto que os próprios autores sugerem que ela pode ser dividida em três partes: parede frontal, parede posterior e zona intermediária.

Como já foi descrito, dentina e esmalte possuem propriedades divergentes. Caso as duas estruturas ficassem simplesmente unidas, haveria uma transferência que induziria tensões focais aumentadas em sua interface. Consequentemente, fissuras iniciadas pelo esmalte se propagariam facilmente para a dentina. Entretanto, Magne e Belser (2022, p. 20) garantem que isso raramente acontece: [“...a explicação para que isso não ocorra está na característica mais fascinante inerente ao dente natural – uma fusão complexa na JAD...”].



Magne e Belser (2022) destacam como as fibrilas de colágeno na JAD se fundem com as da dentina e como conseguem se estendem até o esmalte, formando uma estrutura robusta capaz de desviar e conter, como um escudo, as trincas do esmalte nesta face. A morfologia da superfície da dentina na JAD parece festonada como uma estrutura em favo de mel, o que contribui para aumentar a superfície de contato com o esmalte. Assim complementam que seu desenvolvimento ocorre muito antes de uma polpa identificável. Visto que essa complexa fusão só pode ser formada nos primeiros estágios do desenvolvimento da coroa do dente. Portanto, para os autores, a JAD é vista como “centro” do dente, e não a polpa.

Além de concordarem com as afirmações acima, os autores Huang *et al.* (2019) ressaltam sobre a importância de a JAD possuir alta tenacidade à fratura. Desta forma, juntamente com a dentina subjacente, suportam juntas a integridade do esmalte.

Giannini, Soares e Carvalho (2004), ao testarem a resistência máxima à tração da JAD, relataram que as fraturas ocorreram com maior frequência na face voltada para o esmalte, seguindo a orientação dos prismas. Portanto, ressaltam que os resultados estimados de resistência máxima à tração da JAD (46,9 MPa) representa, na verdade, o esmalte mais próximo a essa interface.

Sendo a região onde o esmalte e a dentina se encontram, a JAD desempenha um papel crucial na distribuição das tensões nos dentes. Ou seja, quando forças são aplicadas, como durante a mastigação, o esmalte atua como um dissipador de tensões, direcionando as cargas verticalmente para a raiz do dente. A JAD, por sua vez, ajuda a transmitir essas forças de maneira horizontal para a dentina coronária. Essa distribuição eficiente das tensões através do esmalte e da JAD protege as camadas internas dos dentes, como a dentina e a polpa, evitando danos e fraturas. Além disso, ela é capaz de absorver a tensão. Portanto, esmalte e JAD trabalham em conjunto para manter a integridade estrutural dos dentes sob pressão, pois a dentina não é capaz de receber cargas verticais (Milicich; Rainey, 2000).

Urabe *et al.* (2000) quantificaram outra força muito importante: a resistência coesiva à tração da JAD, estimada em 51,5 MPa. Os autores correlacionaram essa resistência com resultados anteriores da força de união de sistemas adesivos de resina,



concluindo que os sistemas adesivos atuais podem reproduzir a adesão biológica do esmalte à dentina em termos de força de tração.

Conforme visto, pesquisas já confirmaram que a JAD é uma interface adesiva extremamente forte, durável e tolerante a danos, demonstrando um alto índice de sucesso na retenção de trincas. Ela mantém a integridade do dente ao longo da vida, mesmo com a formação de múltiplas fissuras no esmalte devido à exposição contínua às forças mastigatórias (Bechtle *et al.*, 2010).

ODONTOLOGIA RESTAURADORA BIOMIMÉTICA

Magne e Belser (2022) definem a odontologia biomimética como uma abordagem que visa imitar a estrutura e a função dos dentes naturais para criar tratamentos dentários que preservem e imitem as propriedades naturais dos dentes. Um elemento essencial dessa abordagem é o uso adequado de adesivos dentários, que é crucial para garantir a integração eficaz entre os materiais restauradores e a estrutura dentária original.

Para conseguir a preservação dos tecidos dentários ao mesmo tempo que consegue prolongar os resultados das restaurações, os protocolos biomiméticos são divididos em dois grupos principais: maximização de adesão e redução de estresse. Esses protocolos focam em minimizar as tensões internas geradas durante os procedimentos restauradores e, em garantir uma adesão robusta e duradoura entre os materiais restauradores, e os tecidos dentários, imitando a estrutura e função dos dentes naturais (Dionysopoulos; Gerasimidou, 2020).

Como visto, estudos já comprovam que a JAD é uma interface adesiva extremamente forte, durável e tolerante a danos, demonstrando um alto índice de sucesso na retenção de trincas. Ela mantém a integridade do dente ao longo da vida, mesmo com a formação de múltiplas fissuras no esmalte devido à exposição contínua às forças mastigatórias (Bechtle *et al.*, 2010). Ao mesmo tempo, Urabe *et al.* (2000), relataram que os sistemas adesivos reproduzem a mesma resistência a adesão dela. Portanto, com um profundo conhecimento e a aplicação adequada dos protocolos, é possível replicar a continuidade entre o esmalte e a dentina em uma restauração, semelhante à de um dente íntegro (Magne; Belser, 2020).



Magne (2016) também leva ao entendimento que a aplicação biomimética só será bem-sucedida quando conseguirmos imitar a JAD. Ao replicar suas propriedades, é possível obter uma união que preserva o tecido saudável, mesmo em situações críticas, tanto em dentes anteriores quanto posteriores.

Os efeitos biomecânicos colaterais decorrentes das restaurações de amálgama foi um dos fatores para a transição para a odontologia adesiva com resinas composta. Apesar dessa mudança positiva ser clara, é importante lembrar que as propriedades físicas das resinas compostas também são limitadas (Magne; Belser, 2022).

Para imitar as características dos dentes naturais, restaurações diretas ou indiretas com resina composta são utilizadas. Porém, esses materiais sofrem contração volumétrica de polimerização de pelo menos 2,0%, podendo gerar lacunas e microinfiltrações, resultando em falhas ou cáries. Quanto mais material, maior contração e tensões associadas. Por conta disso, técnicas de polimerização e de colocação incremental são empregadas para reduzir essas tensões. Hoje, produtos odontológicos com diferentes fibras têm sido utilizados para melhorar as propriedades mecânicas e estender as aplicações dos compósitos de resina (El-mowafy *et al.*, 2007).

Estudos de Reeh *et al.* (1989) mostraram que facetas de resina composta (RC) podem recuperar até 88% da rigidez da coroa. Magne e Douglas (1999) demonstraram que a porcelana feldspática pode recuperar 100% da rigidez da coroa. Quando o esmalte é substituído por um material mais flexível, como a resina, onde o módulo de elasticidade pode ser até 80% menor, haverá uma recuperação parcial de sua rigidez (Magne; Belser, 2022).

Diante destes dados, Magne e Belser (2022) concluíram que as propriedades mecânicas da porcelana feldspática é mais próxima da do esmalte. Entretanto, ressaltam que este material restaurador tem resistência maior a tração do que o esmalte. Por conta disso, materiais mais resistentes que isso, não cumprem o princípio biomimético. Quanto a dentina, os substitutos mais próximos são representados pelas resinas compostas micro e nanohíbridas, devido ao módulo de elasticidade ser semelhante, apesar de desenvolver tensões de contração e exibir 4x mais expansão térmica que o dente. Portanto, aparentemente a combinação de cerâmica e RC cumpre



o melhor par biomimético para os dentes. Porém, os autores reconhecem que nem sempre é uma escolha financeiramente acessível:

Para alguns pacientes com finanças limitadas, o uso exclusivo de resinas compostas pode ajudar a resolver uma série de problemas 'semi-biomimeticamente'. Ao considerar um único material, as resinas compostas, com sua elasticidade semelhante à dentina e desgaste quase como o do esmalte, constituem uma primeira escolha (Pascal; Belser, 2022, p. 38).

ZONA DE SELADO PERIFÉRICO

Para aprimorar a comunicação e a prática clínica no tratamento das lesões cáries, várias entidades apoiam a padronização da terminologia relacionada à dentina afetada pela cárie. A mudança proposta visa adotar termos mais precisos, como "dentina dura" para tecido dentário saudável e "dentina mole" para tecido comprometido pela cárie. Essa padronização busca diferenciar claramente entre os tipos de tecido afetado, facilitando o diagnóstico e o tratamento. Isso promove uma abordagem mais consistente e eficaz no manejo das lesões cáries (Innes *et al.*, 2016).

Em uma análise sistemática com metanálise, Barros *et al.* (2020) avaliaram e comparam métodos de remoção de tecido cárie. A análise revelou que a remoção seletiva tem menor risco de complicações e pode preservar melhor a estrutura dentária saudável. A remoção não seletiva, embora remova completamente a cárie, pode aumentar o risco de exposição pulpar e comprometer a dentina saudável.

A remoção seletiva de cáries é menos invasiva do que a técnica convencional e oferece ótimos resultados. Esse método pretende respeitar os tecidos pulpares ao não eliminar a dentina perto da câmara pulpar. A dentina mole é ácida, irreversivelmente danificada e desmineralizada, enquanto a dentina dura está parcialmente desmineralizada e levemente infectada, com potencial de remineralização se o pH for neutralizado (González-Gil *et al.*, 2024).

Distinguir essas duas formas de dentina usando técnicas visuais ou táteis tradicionais é difícil, especialmente em cáries profundas. Isso aumenta o risco de exposição pulpar, pois a 'dentina afetada', a dentina profunda normal e a dentina reparadora são mais moles do que a dentina superficial e intermediária (Magne; Belser, 2022).



González-Gil *et al.*, (2024) indicam o uso de corantes, que diferenciam as dentinas conforme seu substrato, ajudando o clínico a distingui-las e selecionar o que será ou não removido. Os autores destacam que apenas a dentina saudável permite uma força de união adequada, enquanto a dentina altamente desmineralizada interna e externa apresentam uma significativa perda de força de união (25% a 66%).

Alleman e Magne (2012) apresentam um protocolo detalhado para a criação da chamada “zona de selamento periférico” (ZSP) em dentes posteriores. Este método é projetado para manter a vitalidade pulpar e maximizar a adesão no tratamento de cáries profundas. A ZSP se destaca por utilizar dentina hígida, livre de contaminação e altamente mineralizada, capaz de proporcionar uma adesão de 50 MPa.

Através da orientação de corantes de detecção de cárie, o clínico deve realizar o desgaste com uma broca diamantada de granulação fina para criar uma ZSP completamente livre de cáries ao redor da cavidade, como se fosse um fosso. Para isso, deve remover completamente a dentina contaminada, que aparece corada, em uma área de pelo menos 1 a 2 mm ao redor da cavidade, sendo permitido deixar tecido levemente rosado próximo à polpa. Recomenda-se medir a profundidade da escavação para garantir que está na dentina superficial (3-4 mm) ou intermediária (4-5 mm) e parar ao se aproximar da polpa. Fora de regra, a ZSP e a dentina podem ser tratadas com clorexidina (0,2% a 2,0%) por 30 segundos para inativar metaloproteinases e eliminar qualquer bactéria remanescente. O uso de um dispositivo de jateamento com pressão de ar e material abrasivo é recomendado, tanto para uma limpeza suave durante o procedimento quanto para tornar a superfície mais propícia à adesão. (Alleman; Magne, 2012).

Após concluir o preparo da ZSP, o clínico deve realizar a técnica de selamento imediato da dentina, que resultará em uma forte ligação de 45 MPa, e de 30 MPa em áreas mais profundas (González-Gil *et al.*, 2024).

SELAMENTO IMEDIATO DE DENTINA

O selamento imediato de dentina (SID) é uma técnica odontológica que aplica um adesivo dentinário logo após a preparação cavitária, antes da colocação do



material restaurador definitivo. Esta abordagem visa proteger a dentina recém-exposta e oferece vários benefícios clínicos significativos (Brasil; Teruya, 2024).

Primeiramente, o SID reduz a sensibilidade dentinária, pois sela os túbulos dentinários expostos, evitando a passagem de estímulos que podem causar desconforto ao paciente. Além disso, a adesão do material restaurador é melhorada, uma vez que a dentina está limpa e livre de contaminantes, permitindo uma interface mais resistente e duradoura (Ozer *et al.*, 2024).

Esse método é especialmente útil em restaurações indiretas, como inlays, onlays e coroas, resultando em melhor adesão, menor sensibilidade pós-operatória e proteção contra contaminação e degradação da dentina durante a fase provisória da restauração (Walter; Raigrodski, 2008). Estudos demonstram que realizar o SID imediatamente após a preparação ajuda a proteger a dentina exposta contra a desidratação e a contaminação. Resultando em melhor adesão e integridade da restauração quando finalmente colocada. E que também é capaz de melhorar o desempenho a longo prazo das restaurações (Magne *et al.*, 2007).

Magne e Belser (2022) recomendam a aplicação de um sistema adesivo com carga, como OptiBond FL (Kerr) e adições de resina composta para melhorar a geometria e assim, formar a "biobase". Para dentes endodonticamente tratados, sugerem a colocação de 1 mm de cimento de ionômero de vidro (CIV) antes de iniciar o SID. Aliás, quando possível, realizar o SID antes do tratamento endodôntico. E se necessário, combinado com a biobase para reforçar cúspides fracas.

Os resíduos de solução de hipoclorito de sódio (NaOCl) e selante endodôntico na dentina da câmara pulpar podem prejudicar a adesão pois são substâncias que danificam o colágeno e afetam a resistência de união (Zhang *et al.*, 2022).

Puetate *et al.* (2024) explicam que o selamento pode ser realizado antes do preparo biomecânico do canal radicular (selamento endodôntico imediato) ou antes/depois da obturação endodôntica (selamento endodôntico tardio). Seus estudos concluíram que selar a dentina da câmara pulpar antes do tratamento endodôntico pode melhorar a resistência da adesão da restauração final. No entanto, a formação da camada híbrida não foi significativamente afetada pela estratégia adesiva utilizada ou pelo momento de aplicação (imediato ou tardio).

DISCUSSÃO

Como visto, a perda parcial das estruturas naturais foi comprovadamente responsável pelo enfraquecimento da estrutura dental remanescente. Por conta disso, técnicas adesivas, que permitem preparos mais conservadores e que possibilitam reforço às cúspides devem ser empregados (Barbosa; Piazza, 2010).

É importante lembrar que dentes estruturalmente comprometidos são aqueles que sofreram uma perda significativa de sua estrutura dentária. Conseqüentemente, quanto maior o comprometimento estrutural, menor é a proporção de JAD presente (Deliperi; Alleman; Rudo., 2017).

O princípio da preservação máxima do tecido deve ser sempre empregado. O formato geral da cavidade deve ser limitado à remoção dos tecidos danificados, seguida do biselamento das margens do esmalte de acordo com a orientação prismática local. Para um preparo seguro e conservador, o uso de dispositivos oscilatórios é recomendável, assim como evidenciadores de cáries (Magne; Belser, 2022).

Na visão biomimética, quanto menos eficiente for a estratégia adesiva do operador, maior será a dependência de materiais de alta resistência, além de uma necessidade aumentada de retenção e resistência nos preparos dentários (Magne; Belser, 2022).

Um estudo marcante, feito por Morin, Delong e Douglas (1984), demonstrou como preparações cavitárias extensas enfraquecem a estrutura, podendo levar a fraturas por fadiga por conta do movimento da cúspide sob carga oclusal ficar aumentada. O artigo enfatiza que a técnica de restauração com condicionamento ácido é um método valioso para reforçar as cúspides dos dentes, especialmente após a remoção de cáries e preparo cavitário. A adesão de materiais restauradores às superfícies condicionadas demonstrou que há melhora na resistência estrutural do dente. Liberman *et al.* (1990) testaram com melhor padronização da espessura das paredes e obtiveram os mesmos resultados.

Em um tributo a Michael G. Buonocore, Jean-François Roulet (2000) reflete sobre a significativa evolução na odontologia. Ele destaca que o cenário atual mudou



drasticamente com a introdução de novos materiais duráveis e sistemas de adesão confiáveis, o que provocou uma revolução na abordagem de preservação do tecido dentário saudável. Essa mudança de paradigma tornou obsoleta a ideia de retenção macro. Para o autor, o futuro da odontologia promete ser inovador e fascinante. Porém, exigirá uma transformação profunda na conduta e prática profissional dos dentistas: “...o futuro da odontologia será emocionante. No entanto, também exigirá que os dentistas mudem completamente sua visão da profissão. A tecnologia adesiva fornecerá as ferramentas para fazer um excelente trabalho” (ROULET, 2000, p. 364 tradução nossa).

Alleman e Deliperi (2013) ressaltam que a maioria dos currículos odontológicos não se comprometem totalmente em elaborar protocolos adesivos voltados para a superioridade das práticas avançadas voltadas para prática biomimética. Mencionando também que a International Academy for Adhesive Dentistry (IAAD) deveria fornecer a liderança necessária para promover as melhores práticas no campo da odontologia adesiva. Van Meerbeek *et al.* (2001, p. 139) concordam que sua execução ainda pode ser mais complexa e exigir mais habilidade técnica do que as técnicas tradicionais.

É evidente que, apesar dos avanços significativos nos protocolos adesivos atuais, que oferecem técnicas e materiais de alta confiabilidade, muitos tratamentos ainda são planejados com o uso de preparos dentários excessivos. Atualmente, é bem estabelecido que a resistência de uma estrutura dentária está diretamente relacionada à quantidade de remanescente dental preservado. Dessa forma, técnicas que preconizam desgastes excessivos comprometem diretamente a resistência estrutural do dente restaurado. Isso reforça a importância de adotar protocolos que priorizem o menor desgaste possível da estrutura dentária. Historicamente, técnicas com preparos acentuados foram desenvolvidas em uma época em que a adesão era inexistente ou pouco confiável, e, portanto, a retenção de restaurações e próteses dependia exclusivamente da geometria do preparo, que criava retenções mecânicas. No entanto, os protocolos de adesão evoluíram consideravelmente, proporcionando retenção segura e eficaz sem a necessidade de preparos invasivos. Ainda assim, observa-se que muitos planos de tratamento continuam a empregar técnicas de desgaste exagerado, o que pode reduzir a longevidade do dente ao comprometer sua



resistência estrutural. Essa discrepância entre a evolução dos materiais adesivos e a manutenção de práticas mais invasivas destaca a necessidade de uma reavaliação crítica dos protocolos de tratamento, favorecendo aqueles que preservam a integridade estrutural do dente.

CONCLUSÃO

O presente estudo de revisão de literatura demonstra que os protocolos de tratamento baseados na adesão, quando corretamente aplicados, apresentam um alto índice de sucesso a longo prazo. Esses protocolos têm promovido uma abordagem mais conservadora, focada na remoção apenas do material contaminado e na preservação máxima da estrutura dentária remanescente. Essa estratégia minimiza os efeitos negativos sobre a resistência estrutural do dente, assegurando uma maior longevidade das restaurações e promovendo tratamentos mais eficientes e menos invasivos.

REFERÊNCIAS

ALLEMAN, D. S.; DELIPERI, S. Adhesive dentistry: 2013 and into the future. **Compend Contin Educ Dent**, v. 34, n. 9, p. 698-699, 2013.

ALLEMAN, D. S.; MAGEN, P. A systematic approach to deep caries removal end points: the peripheral seal concept in adhesive dentistry. **Quintessence International**, v. 43, n. 3, p. 197-208, 2012.

BARBOSA, A. N.; PIAZZA, J. L. Resistência à fratura de dentes com perda estrutural restaurados com resina composta e sistema adesivo autocondicionante. **RSBO Revista Sul-Brasileira de Odontologia**, v. 7, n. 1, p. 11-18, 2010.

BARROS, M. M. A. F. et al. Selective, stepwise, or nonselective removal of carious tissue: which technique offers lower risk for the treatment of dental caries in permanent teeth? A systematic review and meta-analysis. **Clinical oral investigations**, v. 24, n. 2, p. 521-532, 2020.

BASSOTTO, J. S. et al. Influência do método de inserção do cimento resinoso na resistência adesiva de pinos de fibra de vidro. **Journal of Oral Investigations**, v. 6, n. 1, p. 62-74, 2017.



BATH-BALOGH, M.; FEHRENBACH, M. J. **Anatomia, histologia e embriologia dos dentes e das estruturas orofaciais**. 2. ed. Barueri: Manole, 2008.

BECHTLE, S. *et al.* Crack arrest within teeth at the dentinoenamel junction caused by elastic modulus mismatch. **Biomaterials**, v. 31, n. 14, p. 4238-4247, 2010.

BIACCHI, G. R.; BASTING, R. T. Comparison of fracture strength of endocrowns and glass fiber post-retained conventional crowns. **Operative dentistry**, v. 37, n. 2, p. 130-136, 2012.

BRASIL, L. J. B. C.; TERUYA, C. M. Selamento dentinário imediato: um dos princípios da odontologia biomimética – uma revisão de literatura. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 5, p. 3274-3290, 2024.

CAMPOS, G. B. *et al.* Are CAD-CAM milled glass fiber posts better than prefabricated or custom glass fiber posts for endodontically treated teeth? A systematic review with meta-analysis. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 8, maio, 2024. DOI: 10.1016/j.prosdent.2024.03.041.

COSTA, T. S. *et al.* CAD-CAM glass fiber compared with conventional prefabricated glass fiber posts: A systematic review. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 132, n. 2, p. 337-342, 2022.

CARVALHO, M. A. de *et al.* Fatigue and failure analysis of restored endodontically treated maxillary incisors without a dowel or ferrule. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 131, n. 2, p. 241-250, 2024.

DELIPERI, S.; ALLEMAN, D.; RUDO, D. Stress-reduced direct composites for the restoration of structurally compromised teeth: fiber design according to the “wallpapering” technique. **Operative dentistry**, v. 42, n. 3, p. 233-243, 2017.

DIONYSOPOULOS, D.; GERASIMIDOU, O. Biomimetic dentistry: Basic principles and protocols. **ARC J Dent Sci**, v. 5, n. 3, p. 1-3, 2020.

DUTRA, J. C.; NEPPELENBROEK, K. Influência da férula na resistência à fratura de restaurações com utilização ou não de retentores intrarradiculares em dentes tratados endodonticamente. **SALUSVITA**, v. 41, n. 01, p. 106-123, 2022.

EL-MOWAFY, O. *et al.* Gingival microleakage of Class II resin composite restorations with fiber inserts. **Operative dentistry**, v. 32, n. 3, p. 298-305, 2007.

GIANNINI, M.; SOARES, C. J.; CARVALHO, R. M. de. Ultimate tensile strength of tooth structures. **Dental Materials**, v. 20, n. 4, p. 322-329, 2004.

GONZÁLEZ-GIL, D. *et al.* Comparative Meta-Analysis of Minimally Invasive and Conventional Approaches for Caries Removal in Permanent Dentition. **Medicina**, v. 60, n. 3, p. 402, 2024.



HUANG, W. *et al.* Multiscale toughening mechanisms in biological materials and bioinspired designs. **Advanced Materials**, v. 31, n. 43, p. 1901561, 2019.

INNES, N. P. T. *et al.* Managing carious lesions: consensus recommendations on terminology. **Advances in dental research**, v. 28, n. 2, p. 49-57, 2016.

KUCZUMOW, Andrzej *et al.* Novel approach to tooth chemistry. Quantification of the dental-enamel junction. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 11, p. 6003, 2021.

LIBERMAN, R. *et al.* The effect of posterior composite restorations on the resistance of cavity walls to vertically applied occlusal loads. **Journal of oral rehabilitation**, v. 17, n. 1, p. 99-105, 1990.

LIMA, A. F. de *et al.* Influence of ferrule preparation with or without glass fiber post on fracture resistance of endodontically treated teeth. **Journal of Applied Oral Science**, v. 18, n. 4, p. 360-363, 2010.

MADEIRA, M. C.; RIZZOLO, R. J. C. **Anatomia do dente**. 6. ed. São Paulo: Sarvier, 2016.

MADFA, A. A. Effect of dental glass fiber posts on root stresses and fracture behavior of endodontically treated maxillary central incisors: A finite element analysis study. **Cureus**, v. 15, n. 8, e43056, 2023.

MAGNE, P. It should not be about aesthetics but tooth-conserving dentistry. Interview by Ruth Doherty. **British Dentistry Journal**, v. 213, n. 4, p. 189-191, 2012.

MAGNE, P.; BELSER, Urs. **Odontologia restauradora biomimética**. Nova Odessa: Napoleão, 2022.

MAGNE, P. O método científico, o bom senso, a experiência e o paciente: “MENOS É MAIS”. **J Clin Dent Res**, v. 13, n. 1, e82016. 2016.

MARTELLI, R. Fourth-generation intraradicular posts for the aesthetic restoration of anterior teeth. **Practical periodontics and aesthetic dentistry**, v. 12, n. 6, p. 579-84, 2000.

MERLO, É. G. **Propriedades elásticas da dentina humana e de um compósito reforçado por fibras de vidro como análogo**. 2020. Dissertação (Mestrado em Odontologia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2020.

MILICICH, G.; RAINEY, J. T. Clinical presentations of stress distribution in teeth and the significance in operative dentistry. **Practical periodontics and aesthetic dentistry**, v. 12, n. 7, p. 695-700, 2000.

MORIN, D.; DELONG, R.; DOUGLAS, W. H. Clinical science cusp reinforcement by the acid-etch technique. **Journal of dental research**, v. 63, n. 8, p. 1075-1078, 1984.



NAUMANN, M. *et al.* Risk factors for failure of glass fiber-reinforced composite post restorations: a prospective observational clinical study. **European journal of oral sciences**, v. 113, n. 6, p. 519-524, 2005.

OLIVEIRA, R. R. *et al.* Resistência à fratura de dentes reforçados com pinos pré-fabricados: revisão de literatura. **Journal of Research in Dentistry**, v. 6, n. 2, 2018. DOI: <https://doi.org/10.19177/jrd.v6e2201835-42>.

OZER, F. *et al.* Effect of Immediate Dentin Sealing on the Bonding Performance of Indirect Restorations: A Systematic Review. **Biomimetics**, v. 9, n. 3, p. 182, 2024.

PETYK, W. S. *et al.* Avaliação da capacidade de resistência à fratura em dentes tratados endodonticamente com pino de fibra de vidro comparando diferentes técnicas terapêuticas. **Revista Uningá**, v. 60, p. eUJ4425-eUJ4425, 2023.

PUETATE, C. F. S. *et al.* Sealing of pulp chamber dentin in endodontics: Influence of bond strategy and time-point application. **Journal of Conservative Dentistry and Endodontics**, v. 27, n. 5, p. 514-519, 2024.

RAMOS JUNIOR, L.; MIRANDA, M. E. **Restaurações cerâmicas e metalocerâmicas: detalhes para obtenção da estética e previsibilidade**. São Paulo: Livraria Santos Editora Ltda, 2011.

REEH, E. S.; DOUGLAS, W. H.; MESSER, H. H. Stiffness of endodontically-treated teeth related to restoration technique. **Journal of Dental Research**, v. 68, n. 11, p. 1540-1544, 1989.

RICUCCI, D.; GROSSO, A. The compromised tooth: conservative treatment or extraction? **Endodontic Topics**, v. 13, n. 1, p. 108-122, 2006.

SCHLICHTING, Luís Henrique et al. An approach to biomimetics: the natural CAD/CAM restoration: a clinical report. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 111, n. 2, p. 107-115, 2014.

SILVA, C. F. *et al.* The influence of customization of glass fiber posts on fracture strength and failure pattern: A systematic review and meta-analysis of preclinical ex-vivo studies. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 118, p. 104433, 2021.

STANKIEWICZ, N.; WILSON, P. The ferrule effect. **Dental update**, v. 35, n. 4, p. 222-228, 2008.

THOMPSON, Van P. The tooth: An analogue for biomimetic materials design and processing. **Dental Materials**, v. 36, n. 1, p. 25-42, 2020.

URABE, I. *et al.* Physical properties of the dentin-enamel junction region. **American Journal of Dentistry**, v. 13, n. 3, p. 129-135, 2000.



VAN MEERBEEK, B. *et al.* Adhesives and cements to promote preservation dentistry. **Operative dentistry**, v. 26, p. 119-144, 2001.

VARGHESE, J. T. *et al.* Influence of thermal and thermomechanical stimuli on a molar tooth treated with resin-based restorative dental composites. **Dental Materials**, v. 38, n. 5, p. 811-823, 2022.

WALTER, R. D.; RAIGRODSKI, A. J. Immediate dentin sealing improves bond strength of indirect restorations. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v. 20, n. 4, p. 277-278, 2008.

ZHANG, B. *et al.* Effects of different concentrations of sodium hypochlorite on dentine adhesion and the recovery application of sodium erythorbate. Zhong nan da xue xue bao. Yi xue bang. **Journal of Central South University, Medical Sciences**, v. 47, n. 2, p. 226-237, 2022.