

ODONTOLOGIA RESTAURADORA BIOMIMÉTICA

Pascal Magne, PD, DR MED DENT

Urs Belser, PROF, DR MED DENT

VOLUME 1



QUINTESSENCE

DEGUSTAR

CONSELHARIA DO AUTOR

QUINTESSENCE PUBLISHING
BRASIL

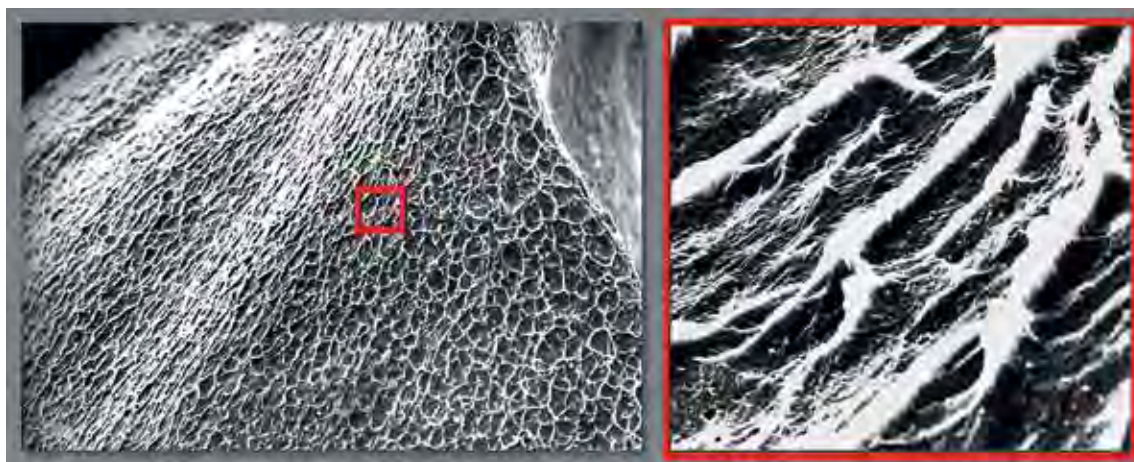
NAPOLEÃO editores

1.6 TRINCAMENTO FISIOLÓGICO DO ESMALTE E A JDE

A junção de dois tecidos com módulos elásticos distintamente diferentes requer uma fusão complexa para sucesso funcional de longo prazo. A transferência de tensão em estruturas bilaminadas simples com propriedades divergentes induz geralmente tensões focais aumentadas na interface¹⁷. Se o esmalte e a dentina nas superfícies funcionais de um dente compreendessem um bilaminado simplesmente unido, então as fissuras iniciadas pelo esmalte cruzariam facilmente a JDE e se propagariam para dentro da dentina. Na realidade, a situação parece ser bem diferente. Embora múltiplas trincas de esmalte sejam tipicamente encontradas em dentes envelhecidos, elas raramente afetam a integridade estrutural do complexo esmalte-dentina. A explicação está na característica mais fascinante inerente ao dente natural - uma fusão complexa na JDE (Figs 1-10a até 1-10d), que pode ser considerada como uma união reforçada com fibrilas¹⁸.

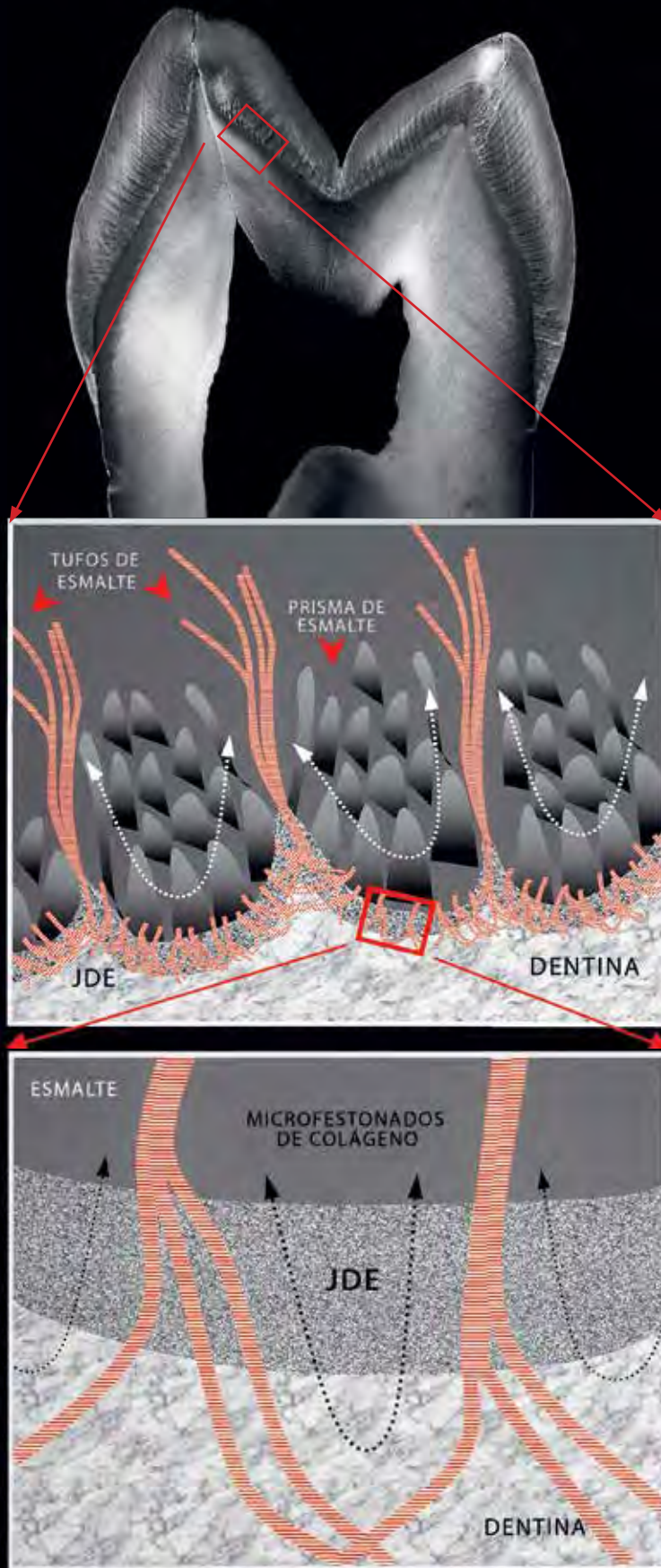
A JDE é uma interface moderadamente mineralizada entre dois tecidos altamente mineralizados (esmalte e dentina). Feixes paralelos de colágeno espesso (provavelmente as fibras de von Korff da dentina do manto) formam consolidações maciças que podem desviar e deter as trincas do esmalte por meio de deformação plástica considerável.

Fractografias de microscopia eletrônica de varredura de espécimes de JDE demonstraram deflexão de trinca para outro plano de fratura quando forçados através da JDE.¹⁹ A estrutura da JDE mostra dois níveis de festoneamento (Figs. 1-10a e 1-10b), que aumentam a área interfacial efetiva e fortalecem a união entre o esmalte e a dentina. O festoneamento é mais proeminente onde a junção está sujeita às tensões mais funcionais²⁰.



1-10a

FIG 1-10 Arquitetura espacial e formação da JDE. (a) A morfologia da superfície da dentina na JDE parece festonada como uma estrutura em favo de mel, o que contribui para aumentar a superfície de contato com o esmalte. (b) Representação esquemática da relação espacial das fibrilas de colágeno. Feixes espessos e tufo reforçador aumentam a fusão de esmalte e dentina (meio, correspondendo às cristas visíveis em a, direita). Feixes espessos de colágeno formam “microfestonados” (parte inferior, setas pontilhadas pretas) dentro dos principais festonados do contorno da JDE (meio, setas pontilhadas brancas). Esses feixes se fundem com outras fibrilas antes ou depois de entrar na matriz do esmalte (parte inferior). (Parte a reproduzida com permissão de Doukoudakis et al.²⁰; figura superior na parte b reimpressa com permissão de Bazos e Magne⁷; figuras do meio e de baixo na parte b modificadas com permissão de Lin et al.¹⁹)

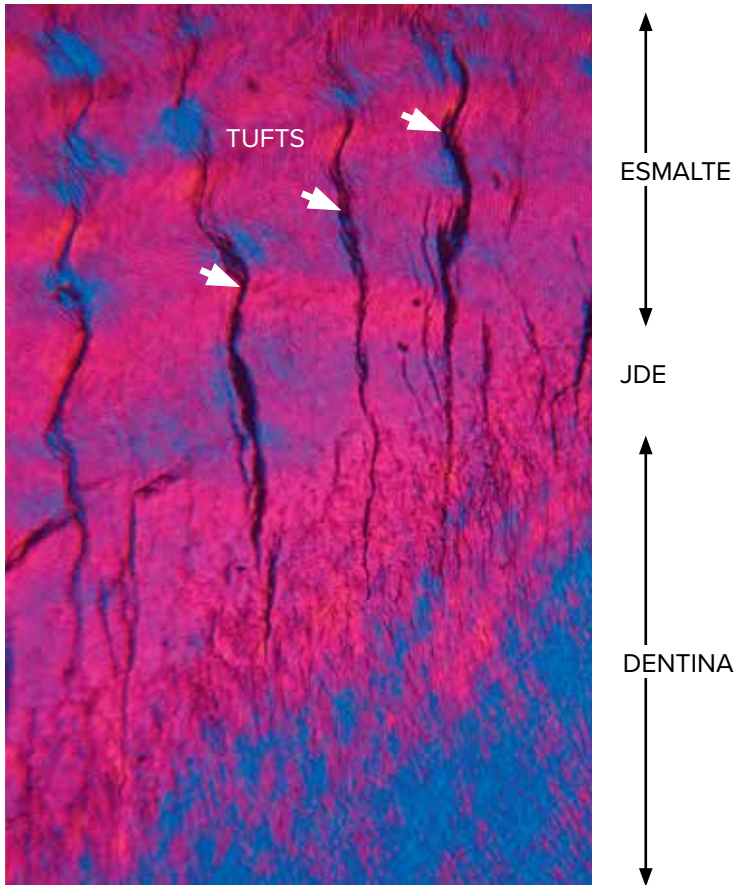


1-10b

Curiosamente, a JDE é formada nos primeiros estágios de desenvolvimento da coroa do dente, no momento da mineralização incipiente e muito antes de uma polpa identificável (Fig. 1-10e). Essa cronologia não é coincidência e outra sequência não permitiria a criação de uma fusão esmalte-dentina tão complexa. É

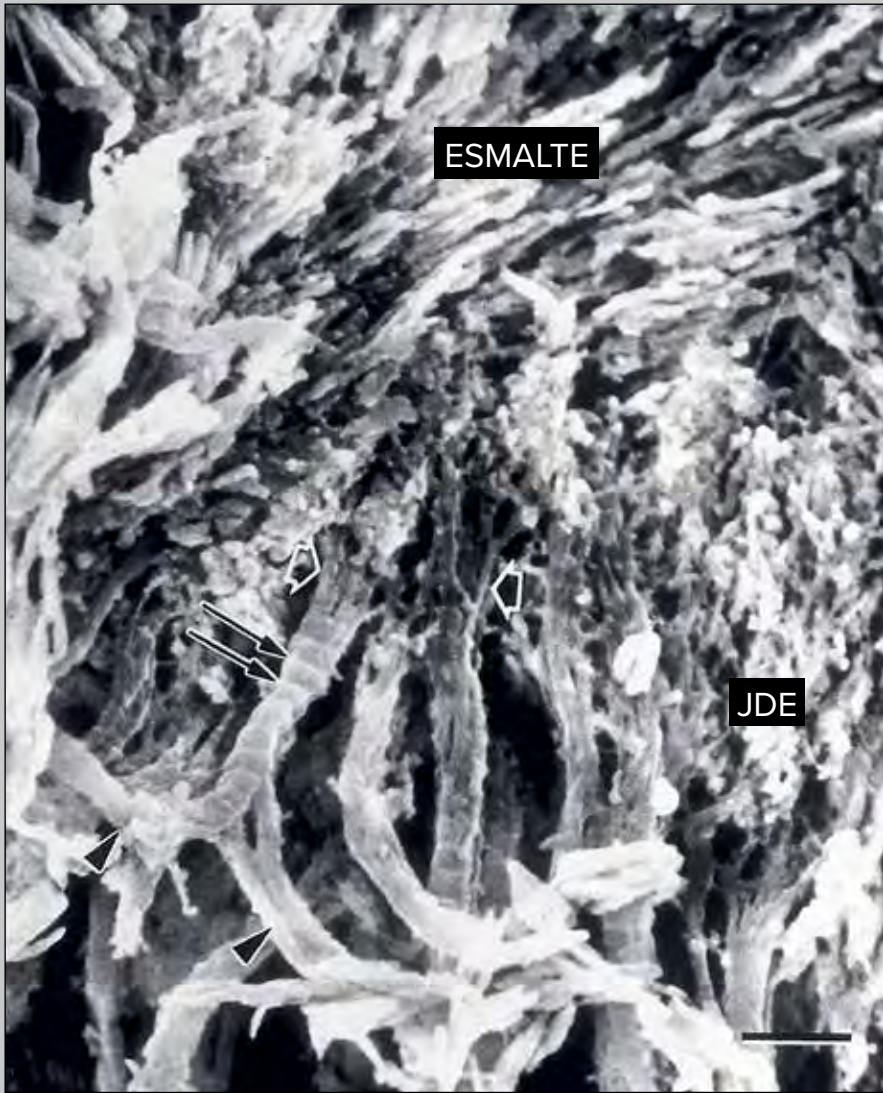
provavelmente mais correto considerar a coroa do dente crescendo bidirecionalmente a partir da JDE ao invés da polpa.

Em outras palavras, a JDE é o “centro” do dente, não a polpa.

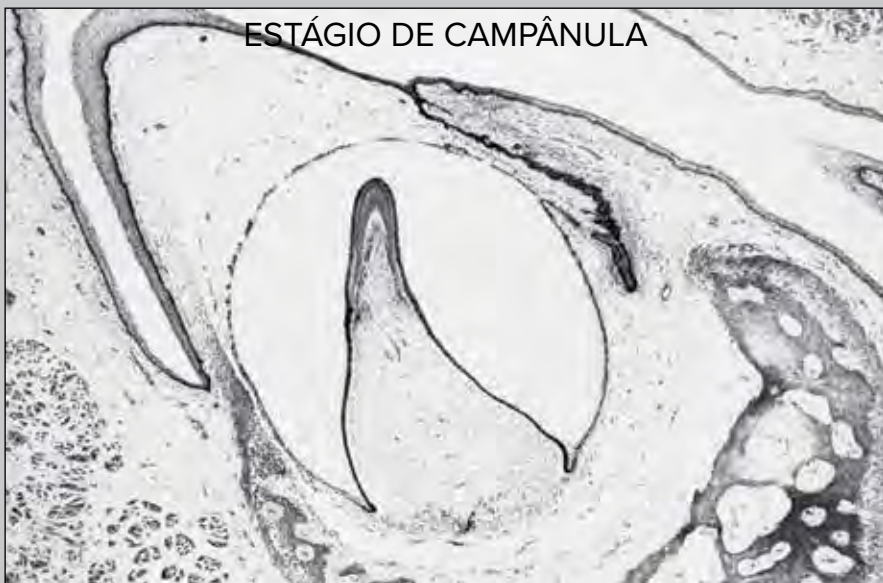


1-10c

FIG 1-10 (cont) (c) Corte fino do dente sob luz polarizada mostrando os tufos de colágeno no esmalte (ampliação original $\times 250$; cortesia de N. Allenspach, Universidade de Genebra). (d) Fotomicrografia eletrônica de varredura por emissão de campo de baixa voltagem da JDE descalcificada com ácido etilenodiaminotetracético neutro; fibrilas de colágeno de 80 a 120 nm de diâmetro se fundem com as fibrilas da matriz de dentina (pontas das setas) e se espriam na matriz de esmalte (*setas abertas*). Observe as bandas cruzadas das fibrilas de colágeno a cada 600 Å (1^{-9}) (*setas pretas*) (ampliação original $\times 50.000$). Essa penetração profunda do colágeno no esmalte, que é a condição sine qua non da JDE, não poderia ocorrer com o esmalte totalmente calcificado (99% mineral por peso). Isso aponta para o fato de que a JDE se forma no início do desenvolvimento embrionário e subsequentemente calcifica. (e) A JDE de um dente decíduo está sendo formada no estágio final de campânula (estágio inicial da coroa) da formação do dente; dentina e esmalte começaram a se formar na crista do epitélio dentário interno dobrado. Nesse estágio e na continuação do crescimento inicial, ocorre a interpenetração do colágeno no órgão contíguo do esmalte. Na maturidade, isso forma a JDE totalmente funcional, que deve ser considerada uma interfase em vez de uma interface. (Parte d reimpressa com permissão de Lin et al.¹⁸; parte e cortesia do Dr. W.H. Douglas, Universidade de Minnesota.)



1-10d



1-10e

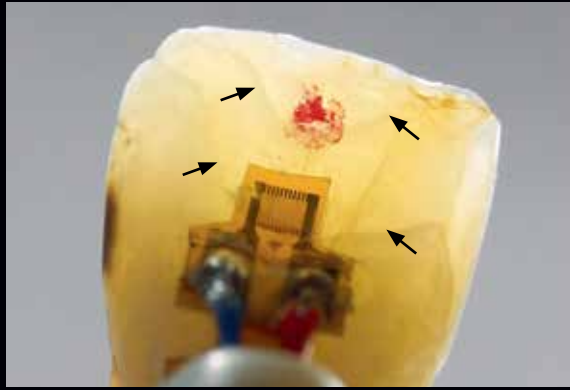
Devido à fragilidade inerente do esmalte e à consolidação colágena da JDE, as rachaduras do esmalte devem ser consideradas um processo normal de envelhecimento (Fig. 1-10f). Além disso, existem outros efeitos de rachaduras no esmalte, que são visíveis em modelos de elementos finitos. A tensão no esmalte é redistribuída ao redor da trinca através da JDE, o que cria uma concentração de tensão na ponta da trinca e deixa a superfície do dente na área da trinca relativamente quiescente (Fig. 1-10g).

Assim, as rachaduras do esmalte podem ser consideradas um atributo aceitável do esmalte, e a JDE desempenha um papel significativo no auxílio à transferência de tensão (em oposição à concentração de tensão) e na resistência à propagação de trincas no esmalte (Fig. 1-10h). As propriedades fascinantes da JDE devem servir como referência para o desenvolvimento de novos adesivos dentinários, que permitam a recuperação da integridade biomecânica da coroa restaurada.

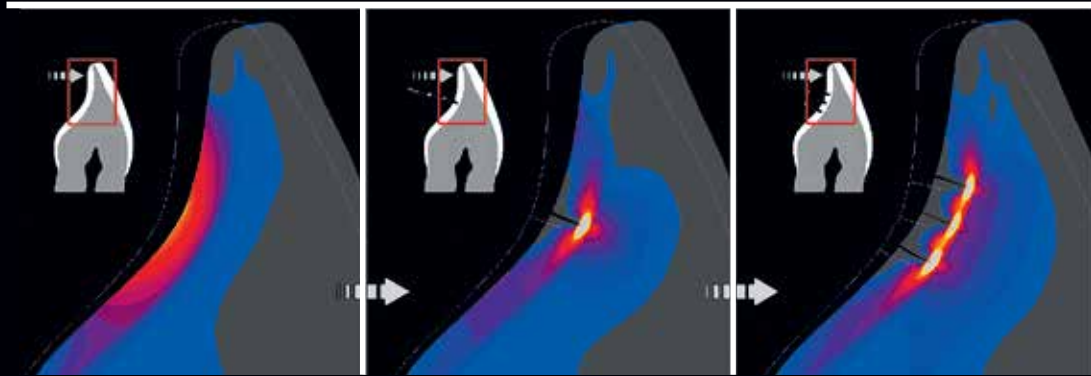


1-10f

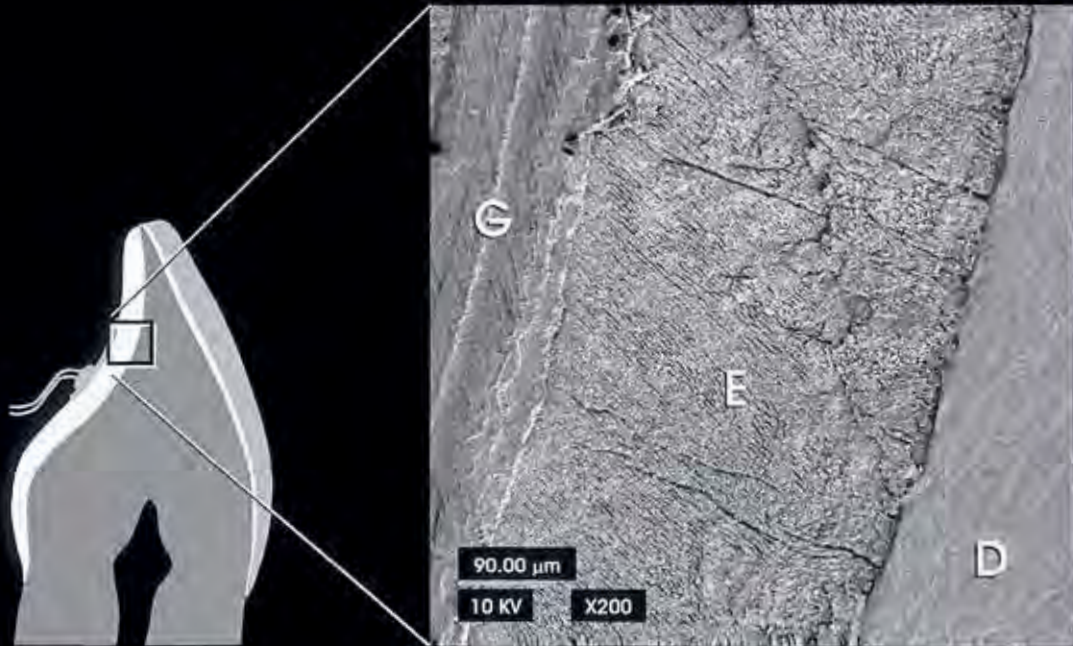
FIG 1-10 (cont) (f) Imagem clínica das superfícies linguais dos incisivos superiores exibindo **numerosas trincas no esmalte** (ver também Fig. 1-17e). Observe trincas semelhantes na coroa total de cerâmica adesiva no incisivo central direito (o reparo deste caso por infiltração de resina é ilustrado no capítulo 7, Fig. 7-12). (g) Uma fotomicrografia de um espécime de estudo com extensômetro exibe múltiplas trincas na superfície palatal (*topo*). Condições experimentais semelhantes, incluindo modelagem de trincas simples e múltiplas, foram simuladas no MEF. O esmalte ao redor das falhas parece estar totalmente quiescente no que diz respeito às forças de tração (as áreas cinzas correspondem às tensões mVM entre 0 e 1 MPa). As tensões na ponta da trinca estão bem acima de 200 MPa (parte inferior; os dentes são carregados horizontalmente com 50N na borda incisal, fator de deformação de 7X). (h) Tomada de micrografia eletrônica de varredura de trincas do esmalte palatino acima de um extensômetro (G). Esta parece ser a área de tensões máximas de tração no modelo numérico. O esmalte (E) está trincado em toda a sua espessura, mas as falhas nunca se propagam para a dentina (d). (Parte g reimpressa com permissão de Magne et al.¹²; parte h reimpressa com permissão de Magne e Douglas¹⁰.)



MVM equivalente (MPa)



1-10g



1-10h

Os dados apresentados anteriormente, são um lembrete de que os desenhos restauradores devem emular os “biomecanismos” protetores encontrados nos dentes naturais (Fig. 1-11). Também levanta a questão se a cárie formada nas fossas e fissuras dos dentes posteriores naturais é causada pelo difícil acesso para limpeza ou simplesmente por se tratar de uma área

mecanicamente sensível. Pode-se supor que o primeiro incidente é uma trinca no esmalte que permite a penetração direta das bactérias na JDE (Fig. 1-12). A extrema semelhança entre a geometria das tensões de tração máximas encontradas nas fissuras e a forma da decomposição das fissuras é surpreendente e pode revelar que a biomecânica nunca deve ser subestimada.



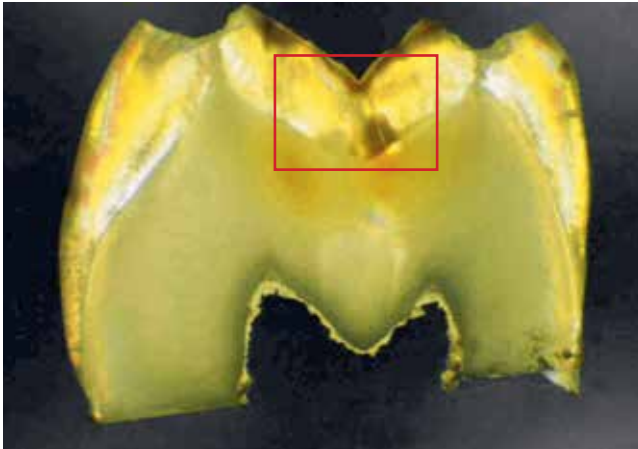
1-11a



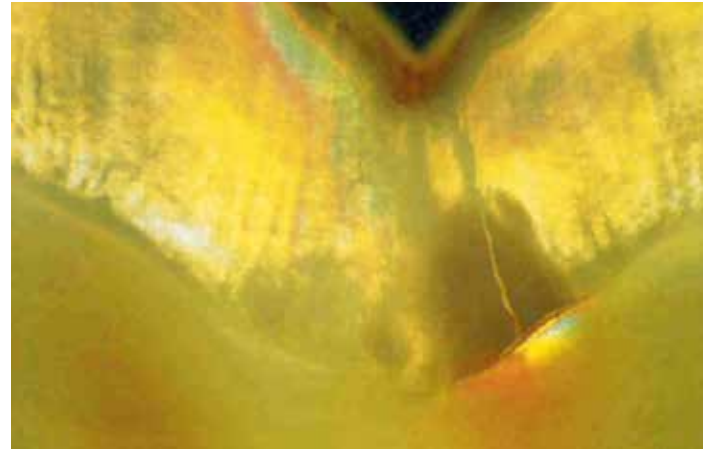
1-11b

FIG 1-11 Emulação de “biomecanismos” protetores (cristas marginais e ponte de esmalte). (a) Este paciente sofreu da síndrome do dente rachado por causa de uma trinca bem definida sob uma restauração de amálgama (observe a trinca na base da cúspide disto-palatal). (b) A restauração (inlay de resina composta méso-ocluso-distal [MOD] com cobertura mínima da cúspide disto-palatal) apresenta cristas marginais fortes e uma ponte de esmalte central.

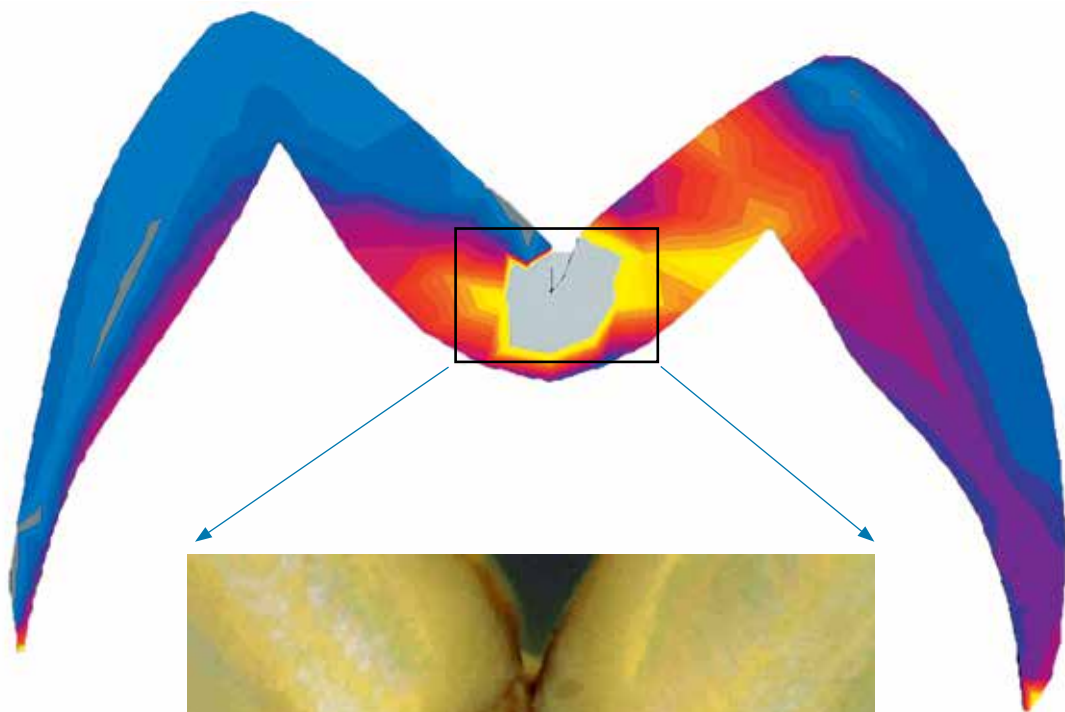
FIG 1-12 Cárie de fossas e fissuras iniciada por um defeito mecânico? (a) Seção do dente em luz polarizada mostrando lesão cáriosa no sulco central. (b) A ampliação maior revela uma trinca no esmalte no centro da lesão. A trinca estava presente antes do início da desmineralização? (c e d) Há uma semelhança surpreendente entre a geometria das tensões máximas de mVM no sulco central (*área cinza claro em c*) e a área de desmineralização do esmalte (*d*). (Partes a, b e d cortesia de N. Allenspach, Universidade de Genebra.)



1-12a



1-12b



1-12c



1-12d

BIOLOGIA OU MECÂNICA?

1.7 ENVELHECIMENTO NATURAL DO DENTE E ADELGAÇAMENTO DO ESMALTE

Como mencionado anteriormente, o esmalte e a dentina apresentam propriedades físicas diferentes.

O esmalte pode resistir ao desgaste oclusal, mas é frágil e trinca facilmente. A dentina, por outro lado, é flexível e complacente, mas não é resistente ao desgaste e não envelhece favoravelmente quando exposta diretamente ao ambiente oral.

Em virtude de suas respectivas deficiências, nem o esmalte nem a dentina, independentemente, seriam considerados materiais restauradores eficazes. No entanto, eles formam uma estrutura “composta”, que fornece a um dente características únicas²¹: A dureza do esmalte protege a dentina subjacente macia, enquanto o efeito de retenção de trincas da dentina e das fibras de colágeno espessas na JDE¹⁹ compensa os efeitos inerentes à natureza friável do esmalte. Essa inter-relação estrutural e física entre um tecido extremamente duro e um tecido mais flexível fornece ao dente natural não só sua beleza original, mas também sua capacidade de suportar a mastigação, cargas térmicas e desgaste durante toda a vida.

Envelhecimento/desgaste dos dentes anteriores

A morfologia original e a espessura do envoltório de esmalte (Fig. 1-13a) parecem ter sido projetadas para antecipar os requisitos de desgaste e função²²: As áreas máximas de desgaste são especificamente aquelas que apresentam maiores volumes de esmalte, ou seja, a borda incisal no caso de dentes anteriores. Essa arquitetura “preventiva” ainda permite que o desgaste fisiológico crie exposição da dentina na área incisal (Fig. 1-13b a 1-13d). Da mesma forma, os dentes da região posterior, onde as forças mastigatórias são mais fortes, têm esmalte mais espesso do que os dentes anteriores.²³

O padrão de desgaste dinâmico da borda incisal deve ser uma referência para o desenvolvimento de novos materiais, que devem ser capazes de envelhecer de maneira semelhante ao do esmalte e da dentina.

O envelhecimento natural dos dentes também afeta a interação óptica entre o esmalte e a dentina (Figs. 1-13e e 1-13f). Aqui novamente, a **área da borda incisal é a mais afetada pelas alterações relacionadas à idade (ver também capítulo 2, Fig. 2-8).**

FIG 1-13 As estações da vida dos dentes. (a) Os dentes anteriores apresentam inicialmente mamelos e textura superficial típicos. Esses elementos são progressivamente eliminados pelo desgaste. (b até d) O aparecimento de trincas no esmalte e a exposição da dentina estão ligados a alterações de cor óbvias. (e e f) O desgaste extremo permite compreender a interação óptica entre o esmalte e a dentina, especialmente o papel crucial da dentina na limitação da transmissão de luz na área incisal. Técnicas otimizadas de estratificação de cerâmica ou resina composta são necessárias para reproduzir a transmissão seletiva de luz do esmalte e da dentina.



1-13a



1-13b



1-13c



1-13d



1-13e



1-13f

As alterações da dentição relacionadas ao envelhecimento são o principal desafio da odontologia moderna, que se depara com uma população que envelhece e conserva mais seus dentes naturais.

Os sorrisos podem apresentar sinais físicos e estéticos de envelhecimento. Dentre estes, o desgaste excessivo da região incisal contribui para a perda da proeminência dentária anterior e guia anterior insuficiente, gerando novas responsabilidades para o dentista restaurador. Esse fenômeno degenerativo é obscurecido por mudanças de cor após a exposição da dentina, trincas do esmalte e relacionada à infiltração extrínseca (Figs 1-14a e 1-14b). O interesse generalizado no clareamento vital tornou-se a força motriz da odontologia estética para rejuvenescer a aparência dos dentes a um custo limitado.

Entretanto, esse tratamento químico ultraconservador trata apenas do componente cosmético de um problema complexo.

No processo de envelhecimento fisiológico, a espessura original do esmalte é progressivamente reduzida (Figs 1-14c a 1-14e). Sendo assim, a cor e os problemas cosméticos relacionados ao envelhecimento dentário não devem ser a única preocupação do dentista restaurador⁸. Como mencionado anteriormente, a dentina desempenha um papel crucial em fornecer complacência e flexibilidade ao dente, enquanto a lâmina do esmalte garantirá sua rigidez e resistência. A maior flexibilidade da coroa de dentes desgastados pode estar associada a problemas funcionais e mecânicos. **Uma espessura suficiente e uniforme de esmalte vestibular é essencial para o equilíbrio das tensões funcionais na dentição anterior¹².**



1-14a



1-14b

FIG 1-14 Esmalte em processo de envelhecimento. (a e b) Dentes de um paciente de 70 anos com óbvio desgaste do esmalte relacionado à idade, fissuras e infiltração extrínseca de ambos os incisivos centrais. O clareamento não resolverá os problemas biomecânicos, que exigem a recuperação da rigidez da coroa por meio de abordagens restauradoras adequadas (veja as etapas de tratamento deste caso no capítulo 5, Fig. 5-3 e capítulo 6, Fig. 6-45). (c até e) Vistas detalhadas dos incisivos centrais extraídos. A luz tangencial é usada para revelar a perda da forma do dente, a arquitetura da superfície e o desgaste palato-incisal.



1-14c



1-14d

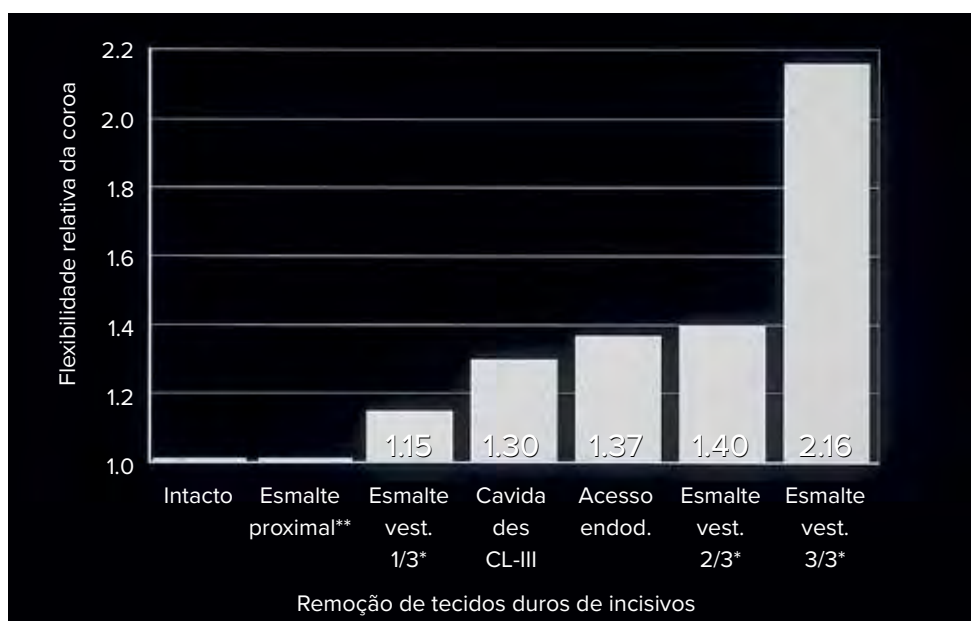


1-14e

Os resultados combinados de diferentes estudos fornecem informações significativas sobre o efeito de várias reduções de tecido na flexura anterior da coroa¹⁰⁻¹². Por exemplo, a perda substancial de esmalte vestibular ou a presença de cavidades de acesso endodôntico têm mais probabilidade de afetar a rigidez da coroa do que a redução interdental de esmalte ou grandes preparos de Classe III (Fig. 1-15a). Na verdade, o esmalte vestibular fino e envelhecido pode levar a altas concentrações de tensão durante a função. Trincas superficiais normalmente encontradas em dentes envelhecidos são responsáveis por esse problema. O efeito significativo do envoltório de esmalte na distribuição de tensões foi demonstrado usando experimentos de extensômetro e modelos de elementos finitos (Figs 1-15b e 1-15c)¹⁰⁻¹².

A perda total do esmalte vestibular afeta negativamente o comportamento do esmalte palatino remanescente. Do mesmo modo, a perda do esmalte palatino afetará significativamente o esmalte vestibular remanescente.

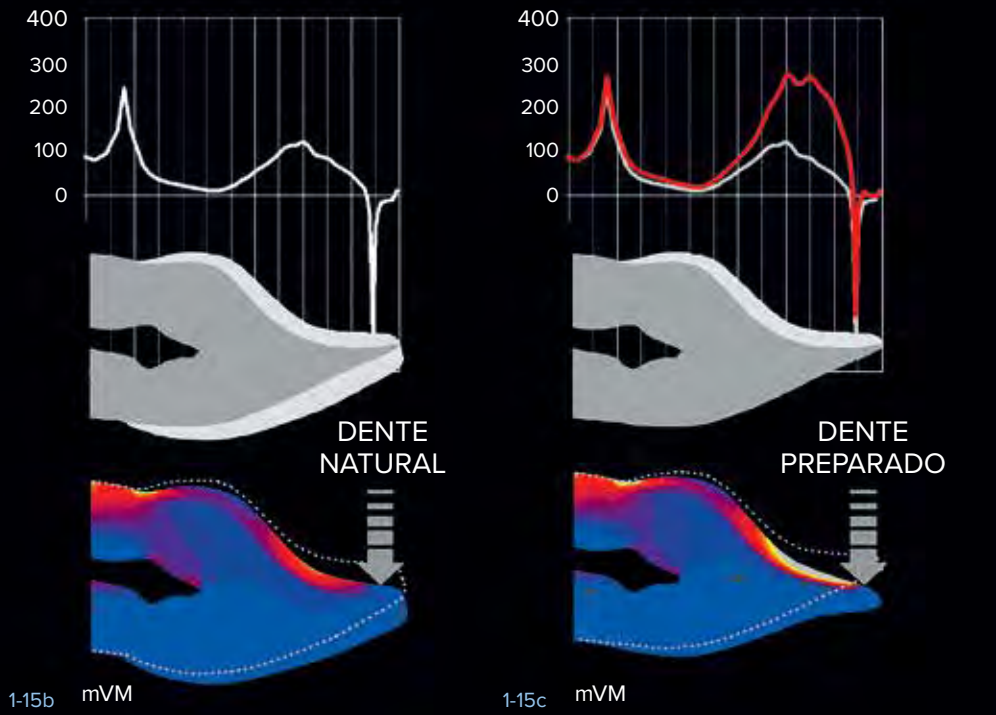
A recuperação da espessura e arquitetura original do esmalte é necessária para o equilíbrio biomecânico da coroa do dente. A escolha do material restaurador é crítica neste assunto (Figs 1-15d e 1-15e). **A restituição da espessura do esmalte é, portanto, um esforço estético e biomecânico combinado. A adesão e os procedimentos restauradores de cerâmica adesiva têm o potencial de reverter as manifestações estéticas do envelhecimento nos dentes (Figs 1-15b a 1-15e).**



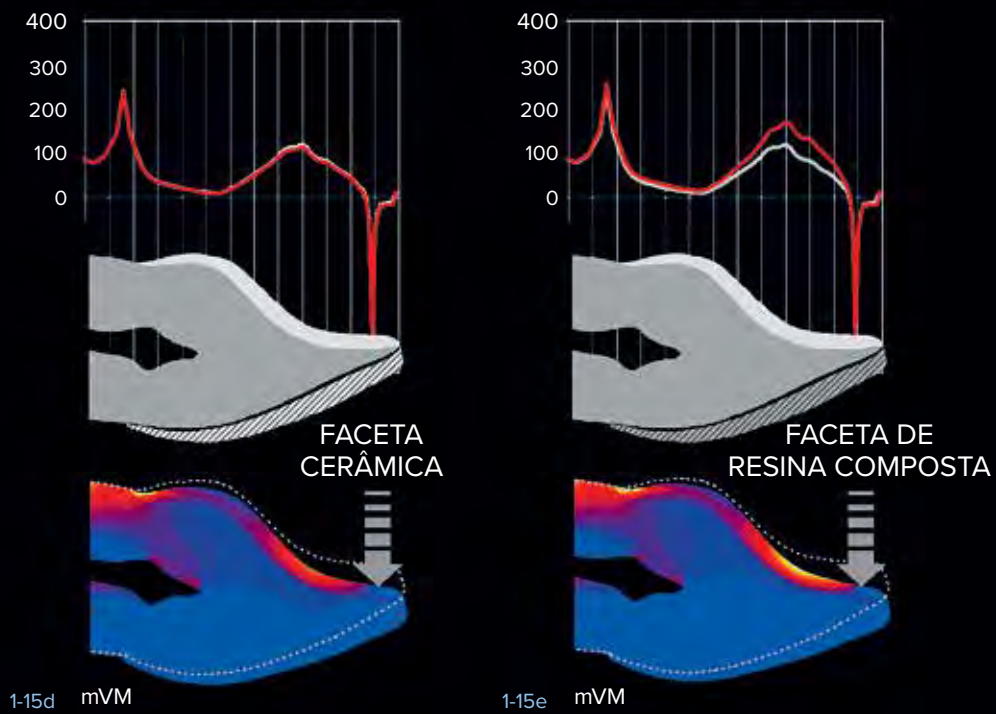
1-15a

FIG 1-15 Impacto da perda e restituição do esmalte. (a) Representação gráfica da flexibilidade relativa (alterações na flexibilidade em relação ao início) para incisivos naturais após a remoção dos tecidos coronais; a remoção total do esmalte proximal (segunda coluna) não afeta a rigidez da coroa, mas a remoção total do esmalte vestibular (última coluna) é mais adversa; 1/3, 2/3 e 3/3 indicam a quantidade de espessura do esmalte vestibular removida. (*Resultados publicados por Magne et al.¹² **Resultados publicados por Magne e Douglas.¹⁰ Outros dados publicados por Magne e Douglas.¹¹) (b até e) Preparo dentário por remoção total do esmalte vestibular foi simulado no MEF; o gráfico de tensões tangenciais (linha vermelha) segue para cada dente ao longo da superfície palatal de cervical para incisal. (b e c) Um aumento dramático nas tensões de tração é encontrado no esmalte remanescente da fossa palatal (dente carregado por palatal com 50N na borda incisal, fator de deformação 10× no mapeamento de tensão mVM). (d) O perfil original de tensão tangencial é completamente recuperado após a colagem de uma faceta de porcelana feldspática. (e) O uso de resina composta como material de estratificação permite apenas a recuperação parcial da rigidez. A distribuição de tensão original do dente natural (linha cinza) é relatada como uma referência. (Partes a até c modificadas com permissão de Magne e Douglas.¹⁰)

Tensão tangencial palatal superficial (MPa)



Tensão tangencial palatal superficial (MPa)



Envelhecimento/desgaste dos dentes posteriores

A história natural dos dentes posteriores é mais complexa do que a da dentição anterior. A boca (e a oclusão) é a porta de entrada para o bolo alimentar e, como tal, é um componente principal do sistema digestivo. A maxila e a mandíbula se encontram apenas nas superfícies articulares dos dentes, daí o significado da oclusão. No processo digestivo, as cúspides são responsáveis pela quebra dos alimentos (Fig. 1-16a) ²². Os movimentos excursivos geram um tipo combinado de desgaste oclusal (Figs 1-16b e 1-16c). Podemos definir desgaste por contato (articular) e desgaste sem contato (não articular). Este último é em si um tipo de desgaste composto, incluindo abrasão de alimentos nas vertentes (sulcos de desenvolvimento e suplementares) e degradação química (corrosão). A abrasão pode ser difícil de distinguir do desgaste corrosivo. Durante a fase de esmagamento do ciclo mastigatório, o bolo alimentar é quebrado em pedaços menores até que os contatos excêntricos sejam alcançados, iniciando a fase de deslizamento em direção à interdigitação cuspídea máxima (Fig. 1-16c). Embora a maioria dos pesquisadores meça apenas uma profundidade qualitativa, existem duas expressões de desgaste oclusal (Fig. 1-16d):

1. **Desgaste volumétrico (V)** é uma propriedade material não relacionada à oclusão

porque um volume pode assumir qualquer forma (área × profundidade).

2. **Profundidade de desgaste (d)** é uma propriedade oclusal porque o desgaste é definido em uma direção (geralmente relacionado à altura facial).

Portanto, a **história natural da oclusão** pode ser resumida da seguinte forma:

1. O preço pago pela função oclusal ou mastigatória é o desgaste volumétrico dos dentes.
2. Uma boa oclusão (boa morfologia e interdigitação) transformará um alto desgaste volumétrico em um desgaste de profundidade aceitável, aumentando a área de contato. A altura facial é preservada.
3. O preço pago por aumentar a área de contato é a perda da morfologia da cúspide levando a uma oclusão plana.
4. Pode-se projetar que, uma vez atingida a oclusão plana, o desgaste em profundidade se equipara ao desgaste volumétrico, levando a um colapso potencial da altura facial.

Cerâmica e resina composta têm um desgaste diferente, o que será explicado no capítulo 4 (ver Figs 4-7 e 4-9).



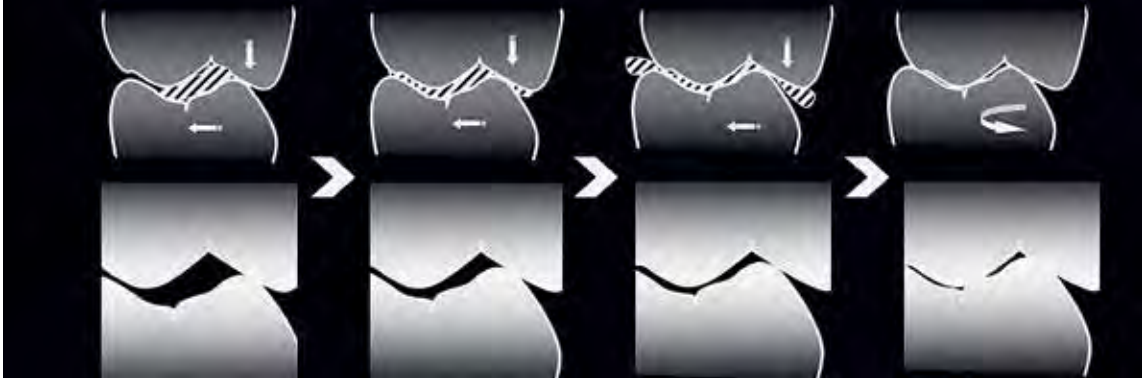
1-16a



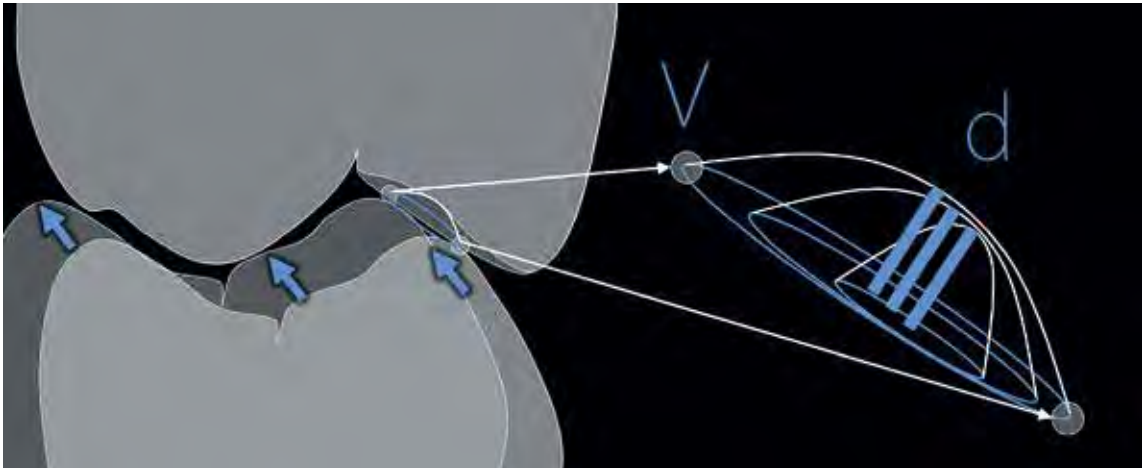
1-16b



DESGASTE OCLUSAL DE TRÊS CORPOS SIMULADOS COM BOLO ALIMENTAR



1-16c



1-16d



FIG 1-16 História natural da oclusão e desgaste oclusal. (a) Molar inferior natural com características das cúspides intactas. (b) O desgaste por contato geralmente aparece como facetas com margens nítidas (*esquerda*). O desgaste não articular geralmente resulta do empurrar e deslizar de partículas de alimentos ao longo dos sulcos de desenvolvimento vestibulares e linguais e sulcos suplementares (*direita*). (c) A trituração dos alimentos termina com a fase de deslizamento. (d) A perda de contorno por desgaste articular pode ser caracterizada por desgaste em profundidade (*d*) e desgaste volumétrico (*V*). A perda de volume é uma propriedade do material e não se correlaciona necessariamente com o desgaste em profundidade devido ao aumento da área de contato.

1.8 BIOMIMÉTICA APLICADA À MECÂNICA

A capacidade única do dente natural de suportar cargas mastigatórias e térmicas durante toda a vida é o resultado da inter-relação estrutural e física entre um tecido extremamente duro (esmalte) e um tecido mais flexível (dentina). O reconhecimento dessa relação tem levado a uma crescente preocupação com a resposta biomecânica do tecido duro intacto aos procedimentos restauradores. A situação tem sido particularmente informativa sobre dentes posteriores (ver Figs 1-25 e 1-26). Um passo significativo foi dado quando os pesquisadores focaram sua atenção nos efeitos colaterais biomecânicos das restaurações de amálgama (ou seja, fraturas de cúspide e síndrome do dente rachado).²⁴⁻²⁶

Em resposta, uma série de estudos²⁷⁻³⁰ analisando a tensão biofísica e a deformação mostraram o seguinte:

- ***Os procedimentos restauradores podem tornar a coroa do dente mais deformável.***
- ***O dente pode ser fortalecido aumentando sua resistência à deformação da coroa.***

Com base nesses princípios, o reforço dentário foi obtido por alguma forma de cobertura total ou parcial (fortalecimento extracoronal) às custas da substância dentária intacta.³¹⁻³³ Hoje, a tecnologia adesiva provou sua eficiência em restabelecer simultaneamente a rigidez da coroa e permitindo a preservação máxima do tecido duro remanescente (reforço intracoronal).³⁴⁻³⁶

Estes estudos demonstraram que as restaurações adesivas de resina composta permitem a recuperação da rigidez dentária, o que não era possível com as restaurações de amálgama.

No entanto, deve ser lembrado que as propriedades físicas das resinas compostas são um tanto limitadas. Uma limitação é o módulo de elasticidade, que para um material micro-híbrido médio pode ser até 80% menor (aproximadamente 10 a 20 GPa) do que o módulo de elasticidade do esmalte (aproximadamente 80 GPa). Como mencionado antes, o envoltório de esmalte prova ser fundamental na maneira como as tensões são distribuídas dentro da coroa.

Quando um material mais flexível substitui a concha de esmalte, apenas recuperação parcial da rigidez da coroa pode ser esperada.

Estudos conduzidos por Reeh et al.³² e Reeh e Ross⁹ mostraram uma recuperação de 76% a 88% na rigidez da coroa após a colocação de restaurações de resina composta e facetas de resina composta. Por outro lado, foi demonstrado que a rigidez da coroa pode ser 100% recuperada quando a porcelana feldspática (módulo de elasticidade de aproximadamente 70 GPa) é usada como substituto do esmalte, como acontece com [facetas de porcelana](#) (Ver Fig. 1-15d).¹⁰ Dentes restaurados com facetas de porcelana cimentadas em dentina também provaram seu comportamento biomimético absoluto quando submetidos a procedimentos restauradores cumulativos¹¹ e testes catastróficos (Fig. 1-17).

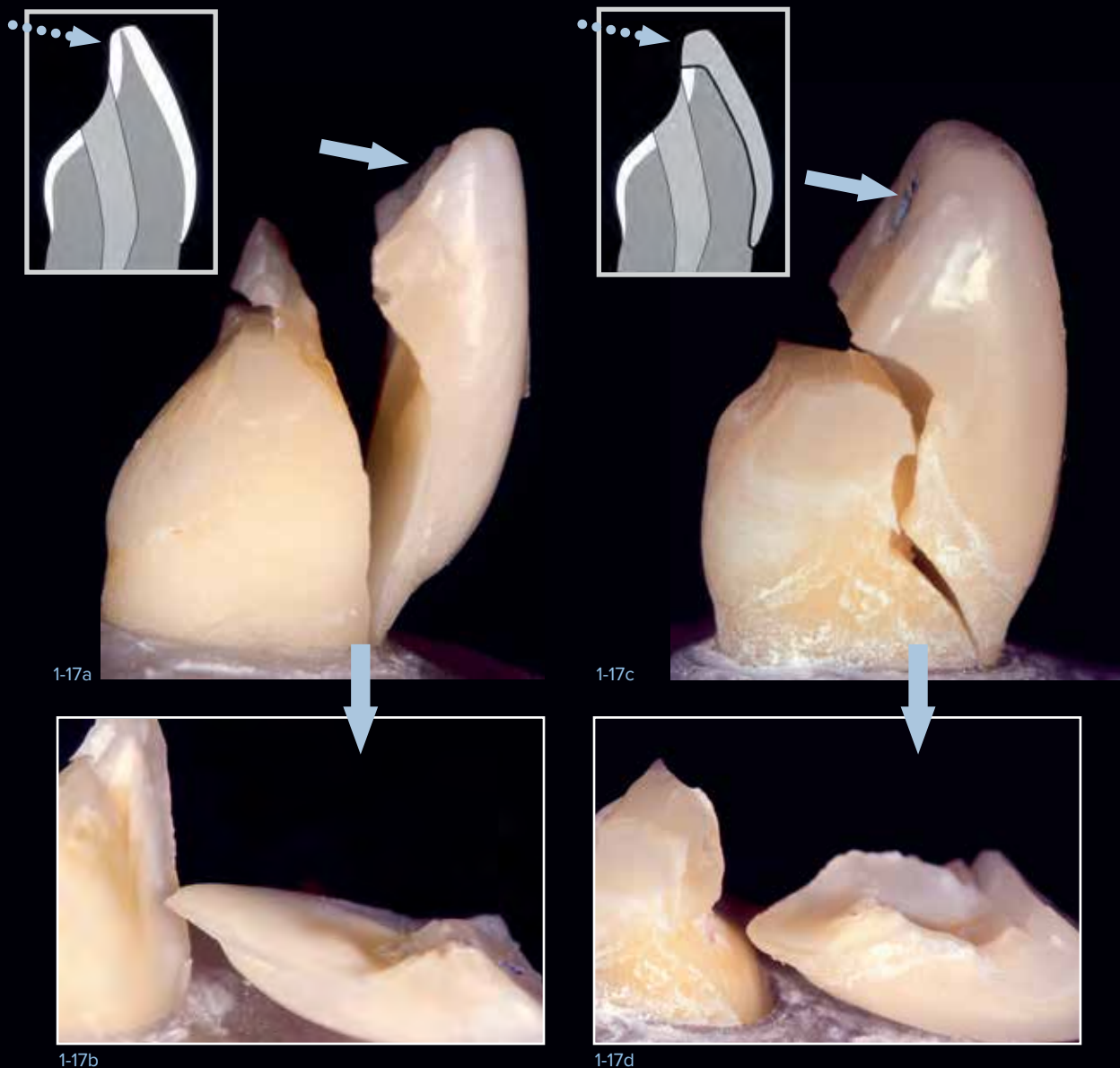


FIG 1-17 Falha catastrófica de incisivos intactos versus incisivos restaurados com facetas de porcelana cimentadas em dentina.* Incisivos naturais (*a* e *b*) e facetados (*c* e *d*) foram submetidos a procedimentos restauradores cumulativos (tratamento endodôntico seguido por restaurações Classe III) seguido por envelhecimento simulado (termociclagem 1000X a 5° C a 55° C) e teste de impacto (carga palatal catastrófica na borda incisal, superfície palatal com indentação). Observe o padrão de fratura semelhante. Ambos os dentes se comportaram como barras de cantilever. Devido à distribuição da tensão dentro do dente, as trincas não se propagaram horizontalmente, mas obliquamente, respeitando a área de tensão compressiva vestibular (ver Fig. 1-5b). A propagação de fissuras no dente restaurado (*c* e *d*), no entanto, seguiu um caminho característico que evita precisamente a faceta cimentada em dentina. Uma quantidade significativa falhou coesivamente em dentina (*d*), deixando a restauração intacta e sem trincas. A restauração foi realizada em porcelana feldspática.

*A amostra facetada nas Figuras 1-17c e 1-17d foi inicialmente preparada removendo completamente o esmalte da superfície vestibular, reduzindo a borda incisal em 1,5 a 2 mm e criando um envoltório interdental moderado (penetrando na metade da superfície proximal). Um procedimento especial de adesão à dentina (selamento dentinário imediato) foi então usado¹⁰ (consulte também o capítulo 6, Fig. 6-45). A remoção extensiva do esmalte e da exposição da dentina não é uma abordagem tradicional para o preparo de faceta. Este projeto experimental arriscado foi escolhido para criar um desafio máximo para o complexo dente-restauração.

A partir das Figuras 1-15 e 1-17, é fácil de entender o impacto do princípio biomimético, que logicamente leva à análise de quais materiais podem simular melhor o comportamento do esmalte e da dentina. Parte dessa abordagem está representada na Tabela 1-1.³⁷⁻⁴⁶ A porcelana feldspática simples pode ser comparada ao esmalte. **É importante notar que as cerâmicas dentais mais fracas (isto é, porcelana feldspática) têm uma resistência à tração final mais alta do que o esmalte natural. Materiais de alta resistência, como MC e cerâmicas reforçadas, não parecem ser obrigados a cumprir o princípio biomimético.**

As propriedades de desgaste (abrasividade) dos materiais feldspáticos, no entanto, permanecem uma preocupação⁴⁷, especialmente para a cobertura total dos segmentos laterais da dentição, bem como inlays e onlays. A este respeito, novos materiais híbridos (por exemplo, cerâmica com infusão de resina CAD/CAM; consulte o capítulo 4, Fig. 4-9) podem trazer melhorias significativas no futuro. Por outro lado, as facetas de porcelana podem não sujeitar os dentes antagonistas a problemas significativos de desgaste devido à natureza conservadora do tratamento; a face palatal e funcional do dente frequentemente permanece intacta.

O substituto mais próximo da dentina é representado pelas resinas compostas micro e nanohíbridas, devido ao seu módulo de elasticidade semelhante. A maioria das resinas compostas, entretanto, desenvolve tensões de contração e exibe alta expansão térmica (até 4× a expansão térmica do dente natural ou porcelana). Isso

pode se tornar problemático ao combinar camadas finas de porcelana e cimentos resinosos, especialmente quando espaçadores de troquel espessos (>200 µm) são usados durante a fabricação das restaurações⁴⁸. O parâmetro mais desafiador é a simulação da JDE, cuja complexidade parece estar fora de alcance^{18,19}. No entanto, o progresso na adesão permitiu a melhoria na integridade da interface dente-restauração (ver Figs. 1-17c e 1-17d; veja também as próximas páginas e o capítulo 4, Fig. 4-17).

Aplicando o princípio biomimético, parece razoável concluir que novas abordagens restauradoras devem ter como objetivo criar não a restauração mais forte, mas sim uma restauração que seja compatível com as propriedades mecânicas, biológicas e ópticas dos tecidos dentários subjacentes.

Embora a combinação de cerâmica e resinas compostas pareça representar o melhor par biomimético, nem sempre pode ser a escolha mais econômica. Para alguns pacientes com finanças limitadas, o uso exclusivo de resinas compostas pode ajudar a resolver uma série de problemas “semi-biomimeticamente”. **Essas abordagens são amplamente abordadas nos capítulos 3 e 4.** Ao considerar um único material, as resinas compostas, **com sua elasticidade semelhante à dentina e desgaste quase como o do esmalte (ver Fig. 4-7)**, constituem uma primeira escolha.

TABELA 1-1 Propriedades físicas dos tecidos duros dentais e biomateriais correspondentes

	Módulo elástico (GPa)	Coefficiente de expansão térmica (×10 ⁻⁶ /°C)	Resistência à tração final (MPa)		Material correspondente	Módulo elástico	Coefficiente de expansão térmica	Resistência à tração
Esmalte	~80 ³⁷	~17 ³⁸	~10 ³⁹	→	Porcelana feldspática	~60–70 ⁴⁰	~13–16 ⁴¹	~25–40 ⁴²
Dentina	~14 ⁴³	~11 ³⁸	~105 ⁴³	→	Resinas compostas híbridas	~10–20 ⁴⁴	~20–40 ⁴⁵	~40–60 ⁴⁶
JDE	–	–	–	→	Adesivos dentinários	–	–	–

Todos os valores são aproximações. Uma apresentação detalhada das resinas compostas é fornecida no capítulo 3, Figs 3-32 e Tabela 3-3.



1-17e



1-17f

FIG 1-17 (cont) (e e f) A simulação in vitro nas partes a até d parece ser clinicamente relevante, conforme ilustrado por este caso de fratura; uma trinca começou na concavidade palatal e propagou-se obliquamente em direção à face vestibular da raiz. (Cortesia do Dr. L. N. Baratieri et al., Universidade Federal de Santa Catarina.) A semelhança entre as partes a e f é impressionante. Tal situação clínica não é empírica, como demonstrado por Baratieri et al.⁴⁹