

UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS - UniEVANGÉLICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

JOSÉ ANTONIO CASTRO KLENNER

**ANÁLISE IN SILICO DO EFEITO DA COBERTURA DE CÚSPIDE E
PREPARO DE TRINCA NO COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DE
MOLARES COM TRINCA HORIZONTAL.**

ANÁPOLIS

2024

JOSÉ ANTONIO CASTRO KLENNER

**ANÁLISE IN SILICO DO EFEITO DA COBERTURA DE CÚSPIDE E
PREPARO DE TRINCA NO COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DE
MOLARES COM TRINCA HORIZONTAL.**

Dissertação apresentada ao do
Programa de Pós-Graduação em
Odontologia da Universidade
Evangélica de Goiás –
UniEVANGÉLICA como requisito para
obtenção do título de mestre em
Odontologia, no Programa de Pós-
graduação em Odontologia, Área de
Concentração: Clínica Odontológica.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de
Carvalho

Co-orientadora: Profa. Dra. Priscilla
Cardoso Lazari-Carvalho

ANÁPOLIS

2024

/Catalogação na Fonte

Elaborado por Rosilene Monteiro da Silva CRB1/3038



FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE IN SILICO DO EFEITO DA COBERTURA DE CÚSPIDE E PREPARO DE TRINCA NO
COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DE MOLARES COM TRINCA HORIZONTAL
José Antônio Castro Klenner

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Odontologia - PPGO da
Universidade Evangélica de Goiás
- UniEVANGÉLICA como requisito
parcial à obtenção do grau de
MESTRE.

Aprovado em 19 de agosto de 2024.

Linha de Pesquisa: Técnicas, Materiais e Substâncias de Aplicação Clínica e Laboratorial em Odontologia

Banca examinadora

 Documento assinado digitalmente
MARCO AURELIO DE CARVALHO
Data: 19/08/2024 18:15:07-0900
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho
Orientador / UniEVANGÉLICA

 Documento assinado digitalmente
PRISCILLA CARDOSO LAZARI CARVALHO
Data: 19/08/2024 18:26:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Priscilla Cardoso Lazari Carvalho
Examinador Interno / UniEVANGÉLICA

 Documento assinado digitalmente
DIMORVAN BORDIN
Data: 30/08/2024 08:40:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Dimorvan Bordin
Examinador Externo / Universidade de Guarulhos

DEDICATÓRIA

A meus pais, Ângela e Manuel, aos meus irmãos Diego, Paula e Felipe, por me apoiarem em todos os momentos, e à minha esposa Constança, sem sua luz nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Evangélica de Goiás pela infraestrutura e apoio durante a pesquisa.

Ao meu orientador, Professor Marco Carvalho, por todas as orientações e ensinamentos

À professora Priscilla Cardoso Lazari-Carvalho, minha coorientadora, obrigado pela atenção e dedicação ao projeto.

À Professora Doutora Altair A. Del Bel Cury e ao Laboratório de Elementos Finitos da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – Unicamp, pela disponibilização de uso do software para realização da pesquisa.

Agradeço a toda equipe de professores que transformaram minha forma de ver a academia.

Quero também agradecer a todos os meus colegas do Mestrado em Odontologia da turma 2021/2023 pela colaboração neste período.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
INTRODUÇÃO	9
REVISÃO DE LITERATURA.....	12
Síndrome do dente trincado.....	12
Elementos finitos em pesquisa odontológica	13
OBJETIVOS.....	16
Objetivo geral.....	16
Objetivos específicos	16
HIPÓTESE	17
METODOLOGIA.....	18
Desenho do Estudo.....	18
Local.....	20
Procedimentos realizados	20
Modelagem das estruturas	20
Propriedades dos materiais	24
Geração da malha.....	24
Condições de contorno e carregamento	26
Processamento	26
Pós-Processamento	27
Análise dos resultados.....	27
RESULTADOS.....	28
DISCUSSÃO	33
CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

RESUMO

A trinca dentária é uma fratura incompleta no esmalte e na dentina que pode progredir para se conectar ao ligamento periodontal ou à polpa. Essa condição é um estágio intermediário que pode progredir para uma fratura completa do dente. Portanto, é fundamental conhecer a melhor abordagem de tratamento para evitar que a trinca se transforme em uma fratura completa. O presente teve o objetivo de avaliar o efeito do preparo da trinca e do recobrimento da cúspide nas tensões e deformações de um molar inferior com trinca horizontal de mesial à distal em base de cúspide de contenção cêntrica. Para atingir esse objetivo foram desenvolvidos quatro modelos a partir da combinação de 2 fatores de estudo: 1- preparo da trinca em 2 níveis: com e sem preparo 2- recobrimento de cúspide, em dois níveis: com e sem recobrimento. Um protótipo de molar humano inferior foi construído e restaurado usando um programa de desenho gráfico tridimensional. Em seguida, os quatro modelos foram exportados para o software de análise por elementos finitos, onde foram adicionadas propriedades mecânicas, malhamento, condições de contorno e carregamento. Para exercer a função de mastigação, uma carga oclusal oblíqua estática de 131,9 N foi aplicada na vertente triturante do dente. O estudo foi quantitativo e qualitativo com as variáveis de tensão máxima principal (tração), tensão máxima de cisalhamento e deslocamento máximo para as restaurações e dente. Ao se preparar a trinca, diminuiu-se a tração em 48%, e o cisalhamento em 60% para a condição de inlay. Já para a condição de overlay, o preparo da trinca diminuiu a tensão de tração em 58% e cisalhamento em 77%. Quanto à deformação máxima no dente, não houve grandes diferenças entre os modelos com e sem preparo da trinca. O recobrimento de cúspide não influenciou positivamente o comportamento biomecânico de molares com cavidades MOD e trinca horizontal. O preparo de trinca diminuiu as tensões de tração e cisalhamento na região da trinca, sem influência significativa na deformação do dente.

Palavras-chaves: Síndrome de Dente Quebrado, Restauração Dentária Permanente, Coroa Dentária.

ABSTRACT

A dental crack is an incomplete fracture in the enamel and dentin that may progress to connect to the periodontal ligament or pulp. This condition is an intermediate stage that may progress to a complete fracture of the tooth. Therefore, it is essential to know the best treatment approach to prevent a crack from becoming a complete fracture. The present study aimed to evaluate the effect of crack preparation and cusp coverage on the stresses and deformations of a mandibular molar with a horizontal mesial-to-distal crack at the base of the centric containment cusp. To achieve this objective, four models were developed from the combination of 2 study factors: 1- crack preparation at 2 levels: with and without preparation 2- cusp coverage at two levels: with and without coverage. A prototype of a human mandibular molar was constructed and restored using a three-dimensional graphic design program. The four models were then exported to finite element analysis software, where mechanical properties, mesh size, boundary conditions, and load were added. To perform the masticatory function, a static oblique occlusal load of 131.9 N was applied at the grinding inclination of the tooth. The study was quantitative and qualitative with the variables of maximum principal stress (tensile), maximum shear stress, and maximum displacement for the restorations and tooth. When preparing the crack, the tensile stress was increased by 48% and the shear stress by 60% for the inlay models. For the onlay models, crack preparation decreased the elongation stress by 58% and the shear stress by 77%. Regarding the maximum deformation in the tooth, there were no major differences between the models with and without crack preparation. Cusp coverage did not positively influence the biomechanical behavior of molars with MOD cavities and horizontal fissures. Crack preparation reduced tensile and shear stress in the crack region without significantly influencing tooth deformation.

Keywords: Broken Tooth Syndrome, Permanent Dental Restoration, Dental Crown.

INTRODUÇÃO

A trinca dentária é uma fratura incompleta no esmalte e na dentina que pode progredir até para se conectar ao ligamento periodontal ou à polpa (1). Essa trinca quebra a continuidade da dentina e, como sua direção e profundidade são variáveis, pode representar um estágio intermediário de falha que pode progredir para uma fratura completa do dente (2). Uma das causas das fraturas que levam a extração de dentes posteriores pode ser a evolução de trincas não identificadas, que afetam até mesmo os dentes hígidos (3).

Cameron em 1964 definiu essa condição dentária como a “Síndrome do dente trincado ou gretado” (1). Essa síndrome é caracterizada por rachaduras que envolvem o esmalte e a dentina e pode progredir para uma comunicação com a polpa e/ou ligamento periodontal em algum momento (1). Essa rachadura rompe a continuidade da dentina, mas os segmentos não se separam facilmente, permanecendo unidos por uma parte da estrutura da dentina (4,5). A trinca pode progredir para uma fratura completa, comprometendo a integridade da estrutura dental. Nesses casos, o paciente geralmente apresenta sintomas dolorosos, sensibilidade ao frio e desconforto durante a mastigação sobre o dente comprometido (6). Eles também têm um histórico de visitas frequentes ao dentista, mas os sintomas não desaparecem (7).

Talim e Gohil em 1974 desenvolveram um esquema de classificação detalhado sobre as trincas que podem ocorrer nos dentes (8). A classificação ocorre de I a IV. Classe I: Fratura envolvendo esmalte, Classe II: Fratura envolvendo esmalte e dentina sem envolver polpa, Classe III: Fratura de esmalte e dentina envolvendo polpa, todas elas podendo ser vertical ou horizontal e se apresentarem de forma completa ou incompleta. E por último a Classe IV: Fratura das raízes podendo ser vertical ou oblíqua (envolvendo ou não a polpa) ou horizontal (terços cervical, médio ou apical) (8).

As fraturas oblíquas completas ou incompletas da coroa ocorrem ocasionalmente quando forças oclusais não axiais geradas durante a mastigação e a parafunção excedem a capacidade do dente de resistir à fratura (9). Uma trinca oblíqua se originará no esmalte na superfície oclusal, envolverá uma ou mais cúspides, correrá para a dentina em uma direção oblíqua

sob as cúspides e terminará gengivalmente no esmalte ou cimento (9). A trinca incompleta geralmente envolve uma cúspide que não foi removida durante a preparação da cavidade, mas foi severamente enfraquecida pela remoção da cárie (9). As forças oclusais criam tensões internas dentro do dente que resultam na concentração de tensões na junção da base da preparação da cavidade e da cúspide, conseqüentemente, uma pequena rachadura ocorre nesta região do dente (9). O tratamento preferido é a remoção da estrutura dentária ameaçada pela trinca e a restauração do dente com uma coroa total (9).

O planejamento do tratamento para dentes trincados varia entre especialistas (endodontistas e protesistas) e clínicos gerais devido a diferentes experiências individuais (10). As opções de tratamento para dentes rachados incluem monitoramento sem tratamentos restauradores, restaurações diretas e indiretas e extração dentária, dependendo da gravidade dos sintomas e sinais (11). Os tratamentos restauradores podem ser restaurações do tipo inlay (uma cavidade que não cobre nenhuma cúspide), onlay/overlay (uma cavidade que cobre todas as cúspides e, portanto, requer um recobrimento oclusal completo) e coroas totais. Uma revisão de literatura recente sobre as opções de tratamento para dentes trincados relata que se os dentes trincados não apresentarem sintomas, o monitoramento sem nenhum tratamento restaurador pode ser uma opção viável. Restaurações diretas sem cobertura de cúspide para dentes trincados podem aumentar significativamente o número de complicações pulpares e extração dentária em comparação com restaurações de coroa total, sendo estas fortemente recomendadas para dentes rachados após tratamento endodôntico (6).

Apesar do da restauração com coroas totais ser o tratamento mais indicado, uma abordagem de tratamento menos invasiva para trincas dentárias em um dente vital inclui a remoção da trinca por uma broca, seguida pela colocação de uma restauração adesiva para limitar o crescimento de trincas em função (12). O preparo da trinca consiste na utilização de uma pequena broca diamantada redonda (010) acoplada em uma turbina de alta velocidade com a qual se pretende dissecar a trinca, ou seja, cortar seu eixo, até a sua completa remoção (12). Atualmente pouco se sabe sobre os efeitos do preparo de trinca

no comportamento biomecânico dos dentes. Apesar de ser uma técnica minimamente invasiva, não existe estudos na literatura que comparem o efeito do preparo da trinca e a cobertura de cúspides dos dentes trincados.

REVISÃO DE LITERATURA

Síndrome do dente trincado

Monteiro Jr. et al. (2001), em uma revisão de literatura, abordaram os fatores predisponentes e co-fatores para a síndrome do dente rachado, os métodos de diagnóstico e as variedades de tratamento. Até hoje, a síndrome permanece um mistério para os autores e causa desconforto para os pacientes. Os profissionais devem tomar precauções para evitar fraturas, bem como aprender a diagnosticá-las e tratá-las corretamente quando ocorrem.

Rateliff; Becker; Quinn (2001) realizaram um estudo in vivo para determinar o tipo, frequência e causas mais comuns de rachaduras nos dentes posteriores. Foi realizada uma pesquisa em 51 pacientes durante 18 meses. A avaliação foi realizada com lentes de aumento, transiluminação e sonda exploradora para exame clínico. Essas rachaduras foram agrupadas em quatro categorias. O grupo 1 inclui dentes posteriores sem restaurações e sem pigmentação ou sintomas. O grupo 2 inclui dentes posteriores com restaurações de classe I ou II e sem pigmentação ou sintomas. O grupo 3 inclui rachaduras pigmentadas em dentes com ou sem restaurações e com sensibilidade leve à temperatura ou doce. E rachaduras do tipo 4, que causam dor ao abrir e fechar a boca e são sensíveis à temperatura e aos doces (Síndrome do dente rachado). Os autores afirmam que as rachaduras podem ser classificadas de acordo com sua aparência e têm uma característica persistente. A ocorrência é significativamente aumentada por variáveis como a presença de restaurações e interferências oclusais. Os resultados da pesquisa indicaram que as restaurações aumentam a probabilidade de dentes fraturados em 29 vezes. As rachaduras nos dentes restaurados foram causadas por interferências oclusais. Além disso, os sintomas e a pigmentação variam de acordo com a idade do paciente.

Em uma revisão de literatura, Lynch e McConnell (2002) abordaram as características clínicas, os métodos de diagnóstico e os tratamentos mais adequados para os componentes com a Síndrome do Dente Rachado. Os autores afirmam que a patologia se refere a uma fratura incompleta que

ocasionalmente se estende à polpa. O principal sintoma é um desconforto ou dor durante a mastigação de alimentos duros. O diagnóstico é normalmente mais difícil porque o paciente tem dificuldade de identificar os dentes envolvidos. Para os autores, o sucesso do tratamento depende do conhecimento da existência da doença e dos testes de diagnóstico adequados, variando de monitoramento simples até exodontia do elemento dental.

Opdam e Roeters (2003) fizeram um estudo sobre a eficácia clínica das restaurações diretas de resina composta, com ou sem cobertura de cúspide, no tratamento de dentes rachados. Em 39 pacientes, 40 dentes foram tratados. Os critérios de inclusão incluíam sensibilidade ao frio, à mastigação e rachadura visível clinicamente após a restauração. Vinte dentes foram restaurados com cobertura de cúspide, enquanto os vinte restantes foram restaurados sem. Os pacientes foram avaliados na primeira semana, cinco semanas e seis meses. As avaliações mostraram que não havia diferença estatisticamente significativa entre os dentes tratados com ou sem proteção de cúspides.

Elementos finitos em pesquisa odontológica

O método de elementos finitos (MEF) é uma ferramenta de pesquisa bastante importante nas análises biomecânicas em odontologia. Este método é excelente para modelar estruturas complexas analisando suas propriedades mecânicas (13). O método de elementos finitos é uma ferramenta de engenharia que pode ser usada para medir a tensão e a deformação de estruturas complexas. Este método é comumente empregado em pesquisas relacionadas à odontologia (14). O MEF foi desenvolvido no final do século XVIII com o objetivo de resolver problemas matemáticos. O uso prático desta análise só ocorreu após os avanços tecnológicos com o advento da computação. O método se tornou amplamente utilizado em várias áreas, como engenharia, medicina e odontologia, desde sua introdução em 1960 (13). Este método pode ser usado na reabilitação oral para analisar a aplicação de forças em várias condições clínicas, desenhos de preparação e materiais odontológicos restauradores, avaliando os tecidos envolvidos. Isso é feito evitando experimentos mais

complicados com animais ou humanos, que exigem mais recursos e apresentam maior dificuldade de controle de viés.

Para utilizar esta abordagem, é necessário criar um modelo experimental para o objeto a ser estudado. Um programa de computador específico, como o SolidWorks ou o AutoCAD, é usado para desenhar graficamente o objeto. A estrutura modelada pode ter sua morfologia baseada em atlas de anatomia, tomografias computadorizadas, crânios secos e/ou dentes extraídos. Em seguida, este objeto é dividido em pequenos elementos finitos em programas específicos. Os tetraedros e hexaédricos são as figuras geométricas mais comuns para representar as coordenadas no espaço. Cada elemento tem nós na extremidade, conectando-os uns aos outros formando uma malha em camadas bi ou tridimensionais. O modelo tridimensional é o mais adequado para uma análise detalhada das estruturas dento-maxilo-faciais, pois mostra as irregularidades da estrutura dentária, as cargas imprimidas, as tensões geradas e o deslocamento de todos os componentes do elemento dentário, incluindo esmalte, dentina e polpa, e os resultados são mostrados nos três planos. Em seguida, as propriedades físicas e mecânicas de cada estrutura que forma o modelo devem ser determinadas. O comportamento da resposta às aplicações de forças será afetado por essas qualidades. Uma das características do material é sua capacidade de reagir à deformação. Estudos com propriedades viscoelásticas e viscoplásticas seriam ideais (principalmente para ligamento periodontal), mas são pouco conhecidos, o que os torna inadequados. Como resultado, os estudos são conduzidos usando modelos linearmente elásticos. A deformação das estruturas nestes estudos é diretamente proporcional à força aplicada. Se um material é isotrópico (suas características mecânicas são as mesmas em todas as direções, em um mesmo ponto da estrutura), ortotrópico (suas características mecânicas são diferentes em uma direção e as mesmas em duas direções) ou anisotrópico (suas características mecânicas são as mesmas em todas as direções). Além disso, existe uma definição de coeficiente de Poisson, que é o valor absoluto entre as deformações de tração axial longitudinal e transversal. A inclinação da porção linear do diagrama de tensão e deformação do material é representada pelo módulo de Young. O coeficiente

de Poisson e o módulo de Young foram calculados para cada estrutura. Isso inclui esmalte, dentina, polpa, osso cortical, osso esponjoso, ligamento periodontal e material odontológico. Depois de configurar as propriedades, a carga necessária é aplicada e os resultados são analisados. As equações algébricas são usadas para descrever o comportamento dos elementos; os resultados dessas equações representam a distribuição de tensão e deformação do modelo. Esta etapa requer o uso predominante dos softwares Patran, Nastran, Cosmos e Ansys. Os resultados são mostrados usando uma escala de cores, onde cada tom representa a quantidade de deslocamento ou tensão gerada nas estruturas. Como ocorreu o deslocamento, o tipo de movimento realizado, qual região foi mais deslocada, como as tensões foram dissipadas sobre as estruturas do dente ou qualquer outro objeto de estudo pode ser identificado dessa maneira. Previamente, uma escala de cores será criada e os valores representarão a quantidade de tensão e deslocamento no eixo avaliado. Podendo ser usado em uma variedade de contextos, o MEF tem muitos benefícios em comparação com outros métodos de pesquisa (15). Por outro lado, o conhecimento da técnica é essencial para a execução adequada do método (16).

Além disso, Trivedi (2014) afirma que a análise de elementos finitos (MEF) apresenta uma série de vantagens em comparação com estudos que envolvem modelos reais. Os experimentos não precisam ser repetidos, não há preocupações éticas e os planos de estudo podem ser alterados e alterados se for necessário. A MEF também tem limites. É um estudo *in silico* computadorizado que pode não ser replicado totalmente. Embora as propriedades mecânicas dos materiais não sejam realmente isotrópicas ou linearmente elásticas, a análise de tensão é normalmente realizada sob carga estática. Assim, os resultados só podem ser identificados por meio de comparações. Szwedowski et al. descobriram que a MEF estava de acordo com as medidas do strain gauge após compará-la com modelos reais. Considerando essas restrições, pesquisas da MEF devem ser complementadas por avaliações clínicas.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Analisar, usando a metodologia de elementos finitos tridimensionais, como o preparo da trinca e o recobrimento da cúspide impactam o comportamento biomecânico dos molares com trinca horizontal em base de cúspide.

Objetivos específicos

Avaliar como o preparo e restauração da trinca horizontal afetam a quantidade e distribuição de tensão máxima principal (tração), tensão máxima de cisalhamento e deformação dissipadas no dente com trinca horizontal.

Avaliar como o recobrimento da cúspide afeta a quantidade e distribuição de tensão máxima principal (tração), tensão máxima de cisalhamento e deformação dissipadas no dente com trinca horizontal.

HIPÓTESE

As hipóteses nulas (H0) deste estudo foram as seguintes:

1. O comportamento biomecânico do dente trincado não é afetado pelo preparo e restauração da trinca horizontal;
2. O comportamento biomecânico do dente trincado não é afetado pelo recobrimento de cúspide.

METODOLOGIA

Esta pesquisa teve um objetivo analítico e foi experimental usando simulação computacional (in silico). Os resultados são quantitativos e qualitativos, com foco nos resultados da magnitude das tensões e deslocamentos e na análise descritiva da dissipação das tensões nas estruturas. Essa abordagem é chamada de Método dos Elementos Finitos (MEF) em três dimensões.

Desenho do Estudo

Foram obtidos quatro modelos tridimensionais usando uma combinação de dois fatores de estudo para observar os efeitos do recobrimento e preparação da trinca. O estudo começou com a preparação da trinca em dois níveis: com e sem preparação. O recobrimento da cúspide, que pode ser feito em dois níveis diferentes, foi o segundo fator. Há Quatro modelos experimentais que foram comparados de acordo com os fatores usando a combinação fatorial (2x2).

O deslocamento, a tração máxima e cisalhamento máximo do dente foram avaliados como variáveis de resposta. A Figura 1 e o Quadro Tabela 1 mostram o fluxo do estudo.

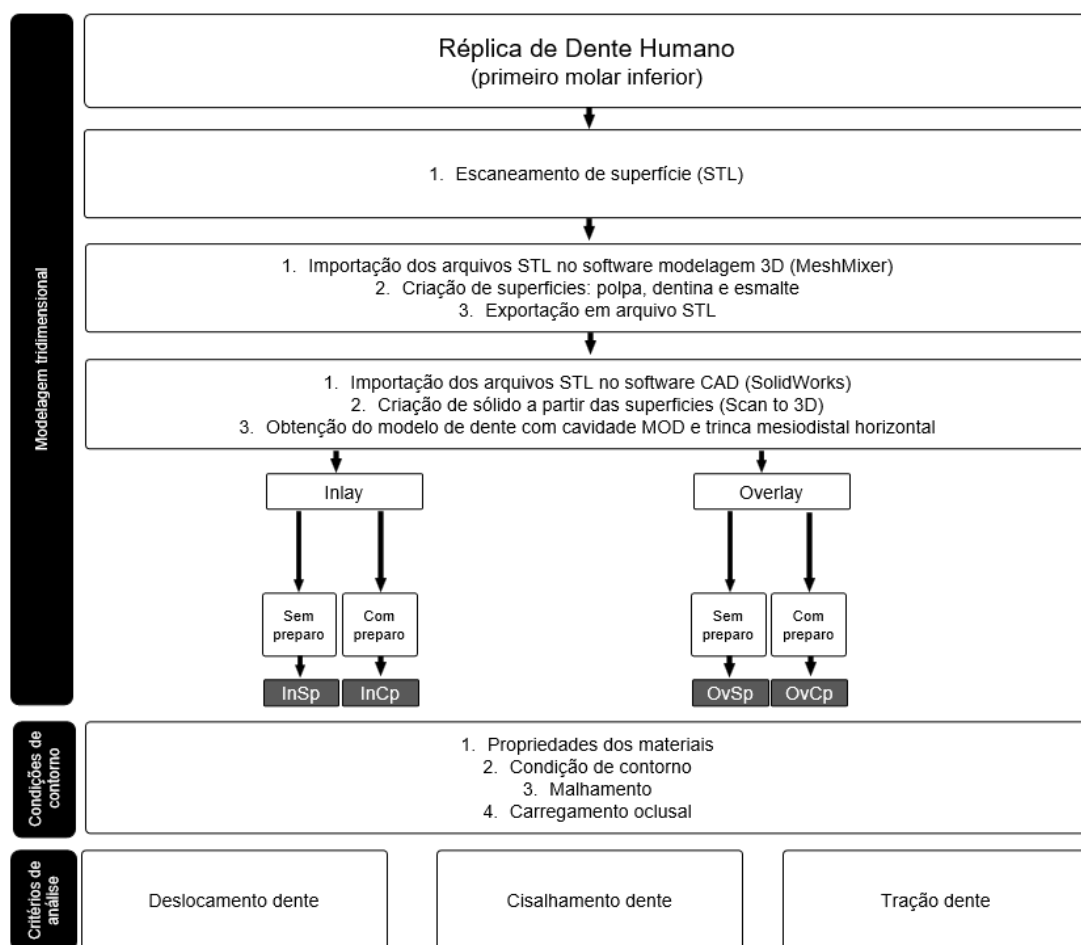


Figura 1: Fluxo do estudo.

Quadro Tabela 1. Delineamento experimental dos 4 modelos do estudo.

Recobrimento de cúspide	Preparo da trinca	
	Com	Sem
Inlay	InCp	InSp
Overlay	OvCp	OvSp

Local

O Centro de Excelência em Pesquisa e Inovação (CEPinova) da Universidade Evangélica de Goiás, localizado em Anápolis, Goiás, foi o local onde se realizou os seguintes procedimentos: delineamento experimental, projeto de pesquisa, tratamento estatístico dos resultados, dissertação e redação de artigo científico.

Para realizar este trabalho, foram utilizados: o software de modelagem tridimensional SolidWorks 2018 (SolidWorksCorp., Concord, Massachusetts, U.S.A.) e software de análise pelo método dos elementos finitos Ansys (ANSYS Workbench 14, Ansys Inc., Canonsburg, Pennsylvania, USA), em computador Avell G1513 Fox-7, com processador Intel® Core™ i7-8750H Coffee Lake, 9 MB Cache (2.2 GHz até 4.1 GHz com Intel® Turbo Boost); memória RAM 16GB (2x 8GB - Dual Channel) Memória DDR4 (2666 MHz); placa de vídeo dedicada NVIDIA® GeForce® GTX 1050 Ti GPU (4 GB GDDR5 dedicada); armazenamento HD 1TB - 5400 RPM SATA III; monitor 15.6" WVA FULLHD 16:9 (1920x1080p) LED; sistema operacional Windows Home 10 (Portátil Equipamentos de Informática LTDA, Joinville, Santa Catarina, Brasil). O trabalho foi realizado em parceria com a Profa Dra Altair Del Bel Cury do Laboratório de Elementos Finitos da Faculdade de Odontologia da Universidade Estadual de Campinas (LEF-FOP-UNICAMP), usando o aplicativo TeamViewer para acessar remotamente os computadores da instituição parceira.

Procedimentos realizados

Modelagem das estruturas

Os modelos tridimensionais de um molar foram reproduzidos baseado em escaneamento de réplica de um molar inferior esquerdo (Nissin Dental Products Inc., Kioto, Japão). O arquivo de superfície (STL) foi então editado no software livre MeshMixer (Autodesk Meshmixer). Os arquivos das superfícies refinadas foram importados para o software de desenhos assistidos por computador (CAD) SolidWorks 2018 (SolidWorks Corporation, MA, EUA)

Através do programa de desenho gráfico SolidWorks (SolidWorks Corporation, MA, EUA) foram confeccionados modelos geométricos de um molar

inferior vital com trinca mesiodistal horizontal com diferentes preparos: overlay sem preparo de trinca, overlay com preparo de trinca, inlay sem preparo de trinca e inlay com preparo de trinca. Os modelos podem ser observados na Figura 2.

A trinca consistiu em uma ruptura parcial na base das cúspides de contenção cêntrica de molar inferior, ou seja, cúspides vestibulares mesial, média e distal. O modelo de molar inferior tem dimensões aproximadas de 12 mm de comprimento mesiodistal, 10 mm vestibulolingual e altura da coroa de 7,5 mm. Foi realizado um preparo MOD com abertura de istmo de aproximadamente 6,5 mm (limites de pontas de cúspides), e profundidade de aproximadamente 5 mm, com socavação das bases das cúspides com distância máxima até 6,9 mm. A trinca foi uma descontinuação parcial nas bases das cúspides vestibulares, de contenção cêntrica, deixando 1mm de estrutura dentária intacta na vestibular. O preparo da trinca foi realizado até a remoção total da mesma, com abertura máxima de 1mm. A cavidade e trinca podem ser observados nas Figuras 3 e 4. Após o preparo da trinca, foi preenchido com resina composta o volume dessa região preparada (Figura 5). Para os modelos com redução oclusal, a mesma foi feita em 2 mm, por toda oclusal do dente com cavidade MOD (Figura 6).

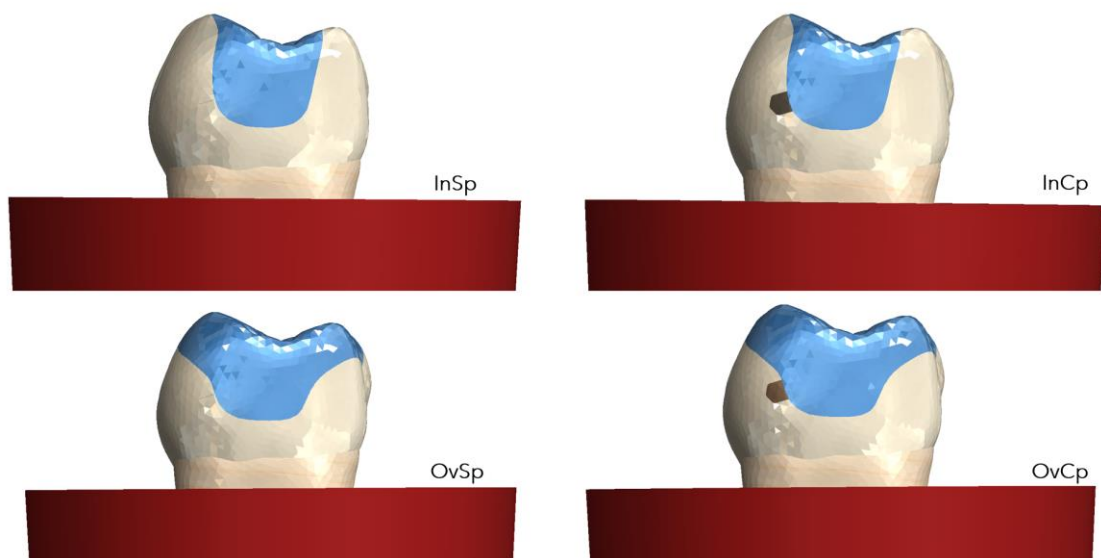


Figura 2: Modelos com inlay (In) ou overlay (Ov), sem preparo (Sp) ou com preparo da trinca (Cp).



Figura 3: Modelo do dente com preparo MOD e trinca mesiodistal na base da cúspide vestibular.

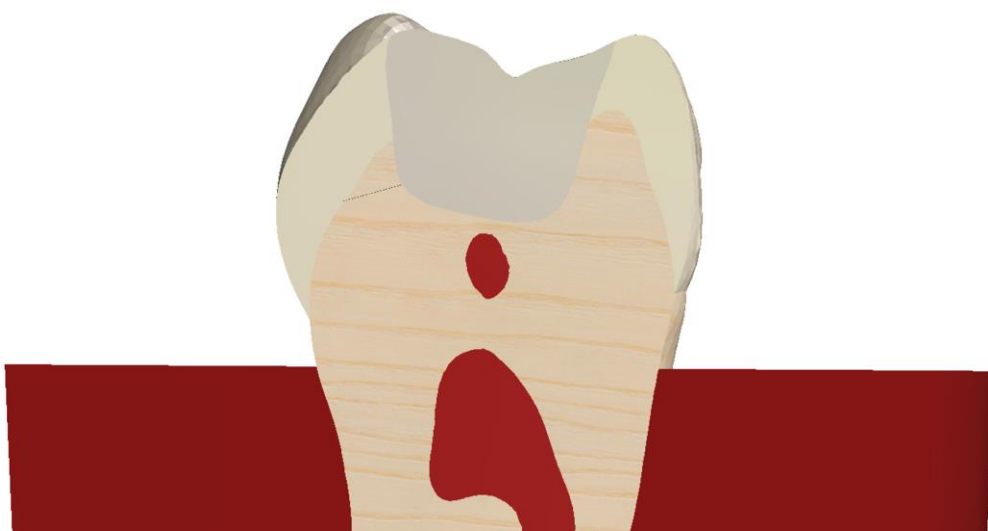


Figura 4: Secção do modelo InSp com preparo MOD restaurado com inlay e trinca mesiodistal na base da cúspide vestibular.

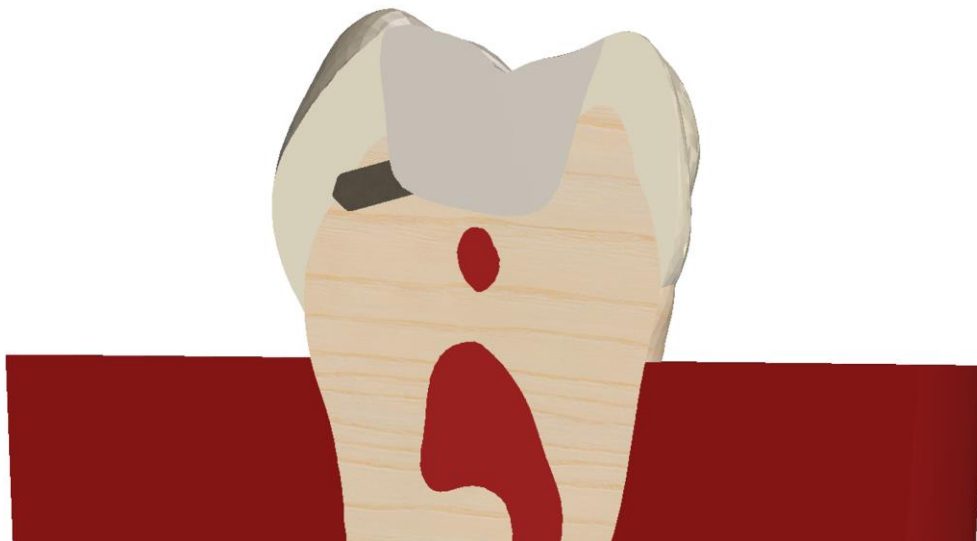


Figura 5: Secção do modelo InCp com preparo MOD restaurado com inlay e com trínca mesiodistal na base da cúspide vestibular preparada e restaurada com resina composta.



Figura 6: Secção dos modelos de overlay (OvSp e OvCp) com preparo MOD restaurado com overlay e com trínca mesiodistal na base da cúspide vestibular sem (Sp) ou com (Cp) preparo e restauração com resina composta.

Propriedades dos materiais

Nesse estudo, os seguintes materiais foram utilizados: resina acrílica, esmalte, dentina, resina composta e cerâmica. Os dados das propriedades mecânicas dos materiais utilizados foram extraídos da literatura para estabelecer uma padronização e facilitar a comparação dos resultados com outros estudos. As propriedades mecânicas de cada estrutura podem ser encontradas na literatura dedicada ao assunto (Tabela 1). Todos os materiais foram considerados homogêneos, isotrópicos, linearmente elásticos e contínuos.

Tabela 1: Propriedades mecânicas dos materiais que serão utilizados na análise por elementos finitos.

Material	Módulo de Elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson	Referência
Dentina	18,6	0,31	Lin et al 2008(17)
Esmalte	84,1	0,30	Lin et al 2008(17)
Polpa	0,002	0,45	Lin et al 2008(17)
Resina Acrílica	3,2	0,3	Park et al 2017(18)
Dissilicato de lítio	83,5	0,21	Trindade et al 2018(19)
Resina composta	16,8	0,26	Park et al 2017(18)

Geração da malha

O processo de dividir a estrutura do modelo em um número finito de elementos (discretização) é parte da geração da malha. Esses elementos estão conectados por pontos nodais no sistema de coordenadas X, Y e Z. O conjunto

resultante é chamado de "malha". A convergência de análise (5%) (20) foi determinada em todos os modelos por meio de um elemento tetraédrico de tamanho 0,3 mm (Figura 7) (qual estrutura foi utilizada para a análise da convergência dos resultados?). Todas as estruturas foram consideradas unidas (componentes do tipo contact). As superfícies externas dos segmentos de resina acrílica foram fixadas em todas as direções para definir os modelos (Figura 8).

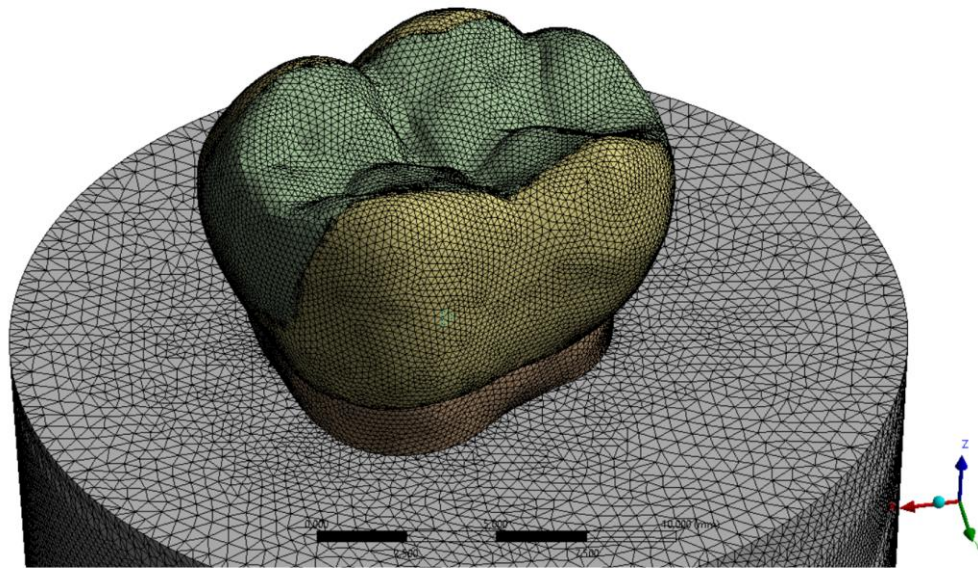


Figura 7: Malhamento do modelo, com elementos de 0,3mm.

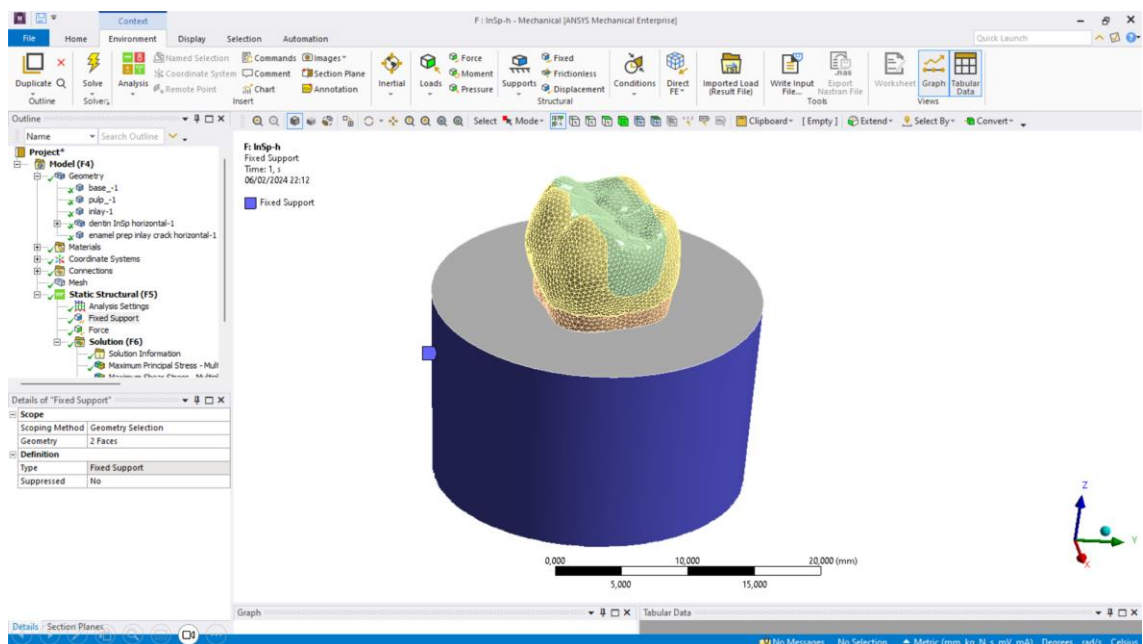


Figura 8: Fixação do modelo observada na área azul na base.

Condições de contorno e carregamento

Para determinar as condições de contorno e carregamento, é usada uma simulação de situação clínica. As interações entre as estruturas deste estudo são consideradas coladas ou justapostas porque impedem a penetração, deslizamento ou afastamento entre as superfícies. Em relação às condições de carregamento, foi aplicada uma carga oclusal oblíqua estática de 131,9 N (21) nas vertentes triturantes do dente, simulando a movimentação para exercer a função de mastigação. A forma como a carga será aplicada será simulou como se o paciente estivesse usando os dentes em uma intercuspidação máxima com deslizamento para o lado de trabalho.

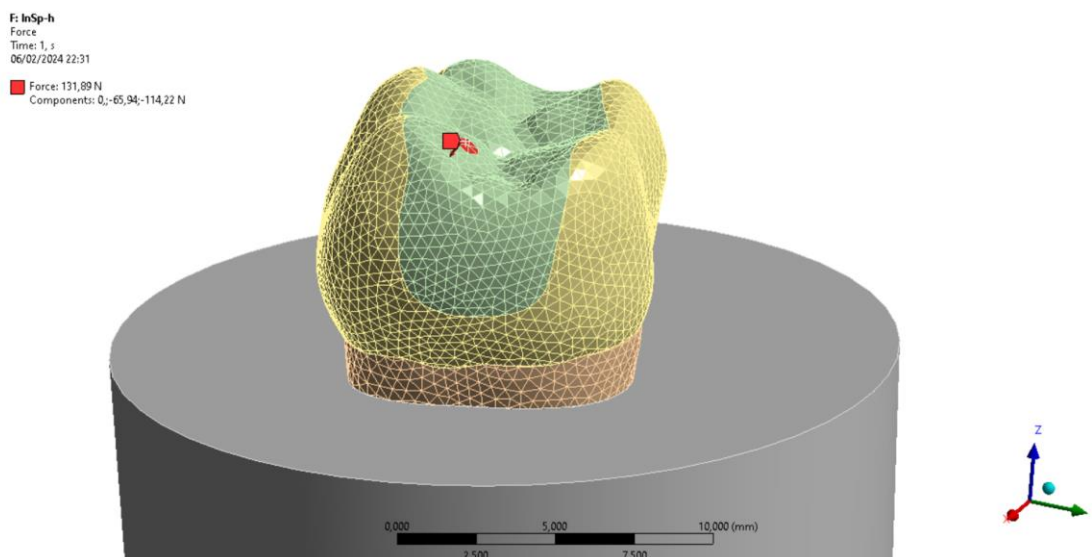


Figura 9: Carregamento oclusal de 131,89N na vertente triturante da cúspide de contenção cêntrica.

Processamento

Os modelos foram submetidos ao processamento das equações numéricas do programa ANSYS Workbench 14 (Ansys Inc., Canonsburg, Pennsylvania, EUA) com as condições experimentais já estabelecidas no pré-processamento. Uma vez concluído, os resultados das quatro condições experimentais do campo de tensão foram obtidos e então avaliados os seguintes fatores: tensão de cisalhamento máximo, tensão de tração máxima, e

deslocamento máximo no dente. Os valores de tensão de tração máxima e cisalhamento máximo foram obtidos somente para a região da trinca, desconsiderando outros locais de tensão,

Pós-Processamento

Existem duas maneiras de avaliar os resultados do processamento: uma análise qualitativa, que é feita comparando visualmente as imagens e seus gradientes de cores usando o software de simulação; e uma análise quantitativa ou numérica, que avalia a distribuição e o valor das tensões máximas produzidas como resposta biomecânica no centro do sistema.

Análise dos resultados

O Microsoft Office Excel para Windows (Microsoft Corporation, Washington, DC) foi usado para tabular os dados deste estudo em planilhas. A análise numérica por elementos finitos usa um modelo único para cada situação simulada para comparar os resultados de tensão e deslocamento nos componentes. Isso significa que não há médias ou desvios padrão ou grupos envolvidos. Devido ao fato de ser uma análise numérica, caso a análise seja repetida, o mesmo resultado será obtido, o que significa que não é necessário realizar um tratamento estatístico.

RESULTADOS

As tensões de tração e cisalhamento, e a deformação máximos foram calculadas para o dente, tanto em esmalte quanto dentina combinados. Observou-se que as maiores tensões de tração e cisalhamento aconteceram nos modelos com trinca não preparada (Sp), tanto para inlays (InSp) quanto para overlays (OvSp) como pode ser observado na Tabela 2 e nas figuras 10, 11 e 12. Ao se preparar a trinca, diminuiu-se a tração em 48%, e o cisalhamento em 60% para a condição de inlay. Já para a condição de overlay, o preparo da trinca diminuiu a tensão de tração em 58% e cisalhamento em 77% como pode ser observado na Tabela 3.

Quanto à deformação máxima no dente, não houve grandes diferenças entre os modelos com e sem preparo da trinca. Aumentou-se a deformação no modelo InCp em comparação com modelo InSp em 8%. Já para a condição de overlay, diminuiu-se em 7% a deformação no modelo OvCp em comparação com o modelo sem preparo de trinca, OvSp.

Tabela 2: Tensões máxima de tração e cisalhamento e deformação encontrados nos modelos com inlay (In) ou overlay (Ov), sem preparo (Sp) ou com preparo da trinca (Cp).

	Tração (MPa)	Cisalhamento (MPa)	Deformação (μm)
InSp	16,0	13,9	12,97
InCp	8,3	5,6	13,96
OvSp	18,5	19,5	12,96
OvCp	7,9	4,6	12,97

Tabela 3: Comparação entre modelos com inlay (In) ou overlay (Ov), sem preparo (Sp) ou com preparo da trinca (Cp) para tensões máxima de tração e cisalhamento e deformação.

	Tração	Cisalhamento	Deformação
InSp -> InCp	-48%	-60%	8%
InSp -> OvSp	16%	40%	0%
OvSp -> OvCp	-58%	-77%	0%
InCp -> OvCp	-5%	-18%	-7%

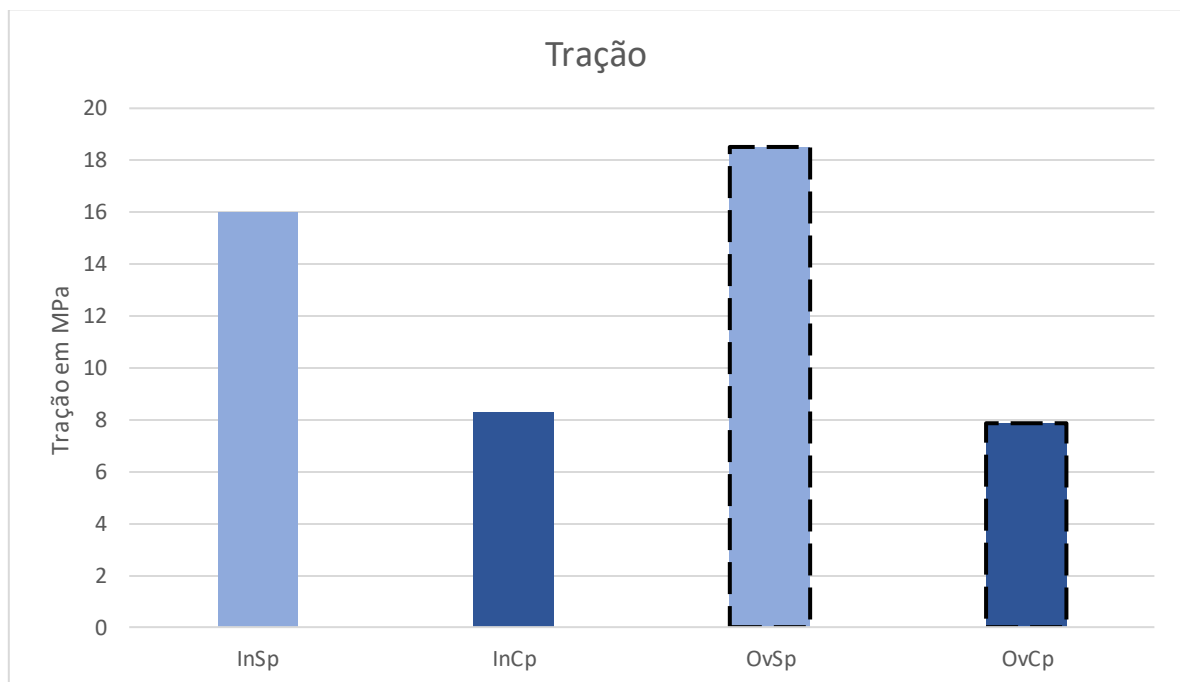


Figura 10: Tensão máxima de tração encontrada nos modelos com inlay (In, barras claras) ou overlay (Ov, barras escuras), sem preparo (Sp, barras sem borda) ou com preparo da trinca (Cp, barras com borda). Repetido! Ou usa a tabela, ou gráfico.

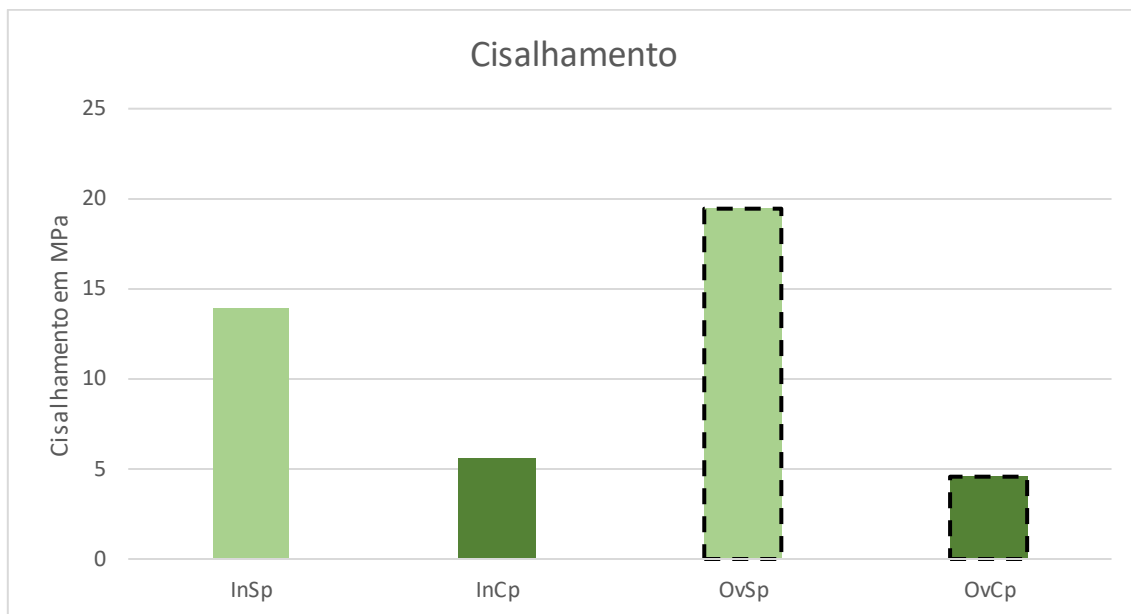


Figura 11: Tensão máxima de cisalhamento encontrada nos modelos com inlay (In, barras claras) ou overlay (Ov, barras escuras), sem preparo (Sp, barras sem borda) ou com preparo da trinca (Cp, barras com borda).

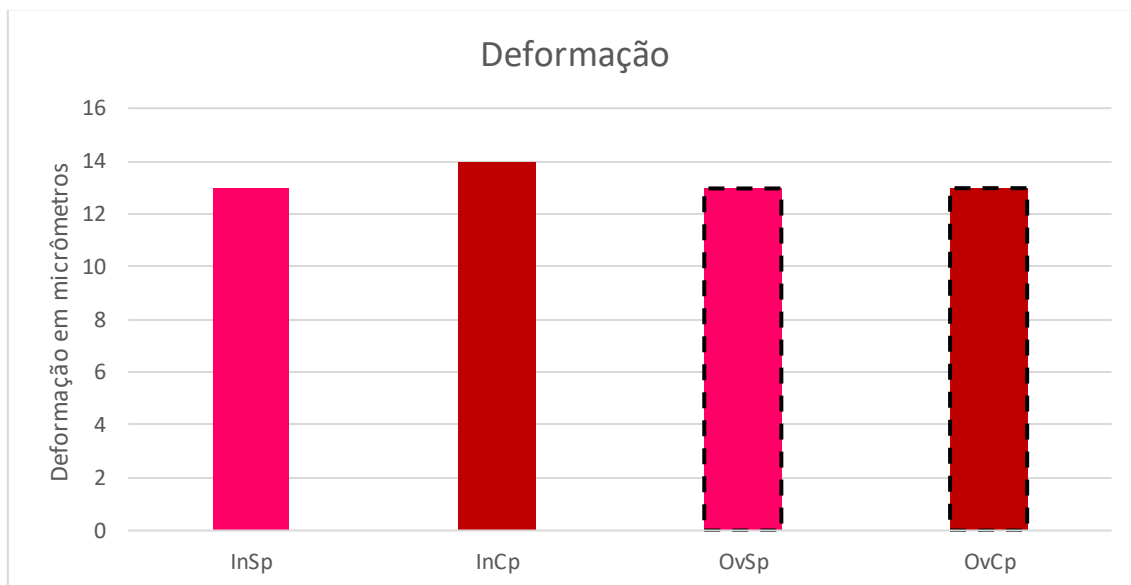


Figura 12: Deformação encontrada nos modelos com inlay (In, barras claras) ou overlay (Ov, barras escuras), sem preparo (Sp, barras sem borda) ou com preparo da trinca (Cp, barras com borda).

As tensões de tração e cisalhamento, e a deformação foram calculadas para o dente, tanto em esmalte quanto dentina. Observou-se que as maiores tensões se concentraram na junção amelocementária na cervical do dente, na junção amelodentinária próximo ao local de carregamento na cúspide vestibulomesial, na região cervical do dente que toca na base deacrílico e também no fim da trinca, no ângulo vestibulomesial (Figuras 13 e 14). As maiores deformações aconteceram na parte mais oclusal da cúspide onde a carga foi aplicada, ou seja, na cúspide vestibulomesial (Figura 15).

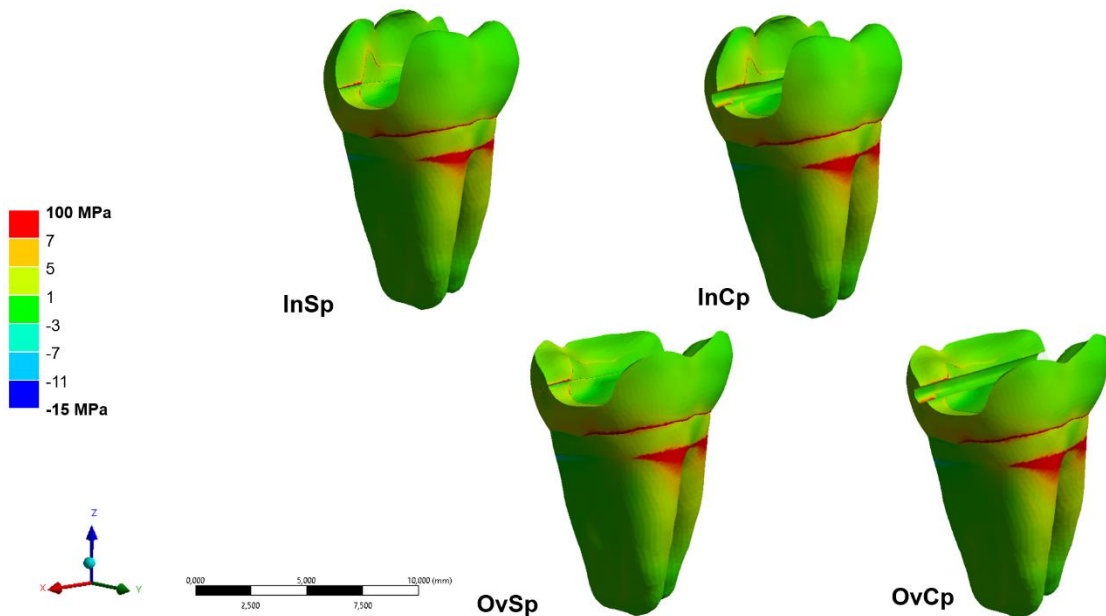


Figura 13: Distribuição das tensões de tração nos quatro modelos analisados. In (inlay), Sp (sem preparo de trinca), Ov (overlay), Cp (com preparo de trinca)

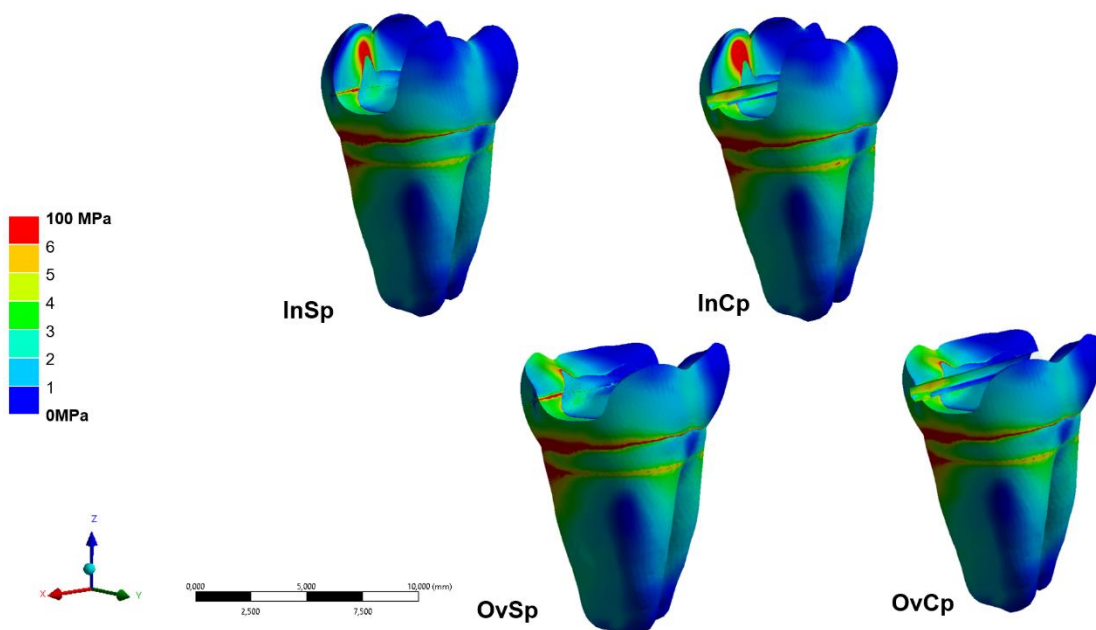


Figura 14: Distribuição das tensões de cisalhamento nos quatro modelos analisados. In (inlay), Sp (sem preparo de trinca), Ov (overlay), Cp (com preparo de trinca)

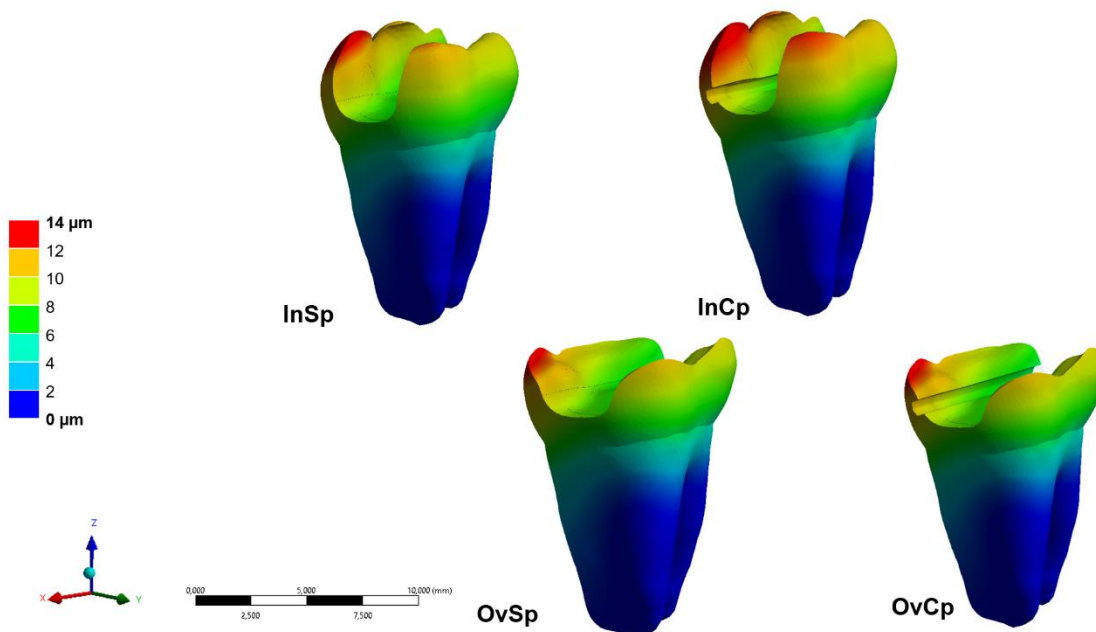


Figura 15: Deformação nos quatro modelos analisados. In (inlay), Sp (sem preparo de trinca), Ov (overlay), Cp (com preparo de trinca)

DISCUSSÃO

O correto diagnóstico e restauração de dentes trincados é uma incógnita que temos até hoje. Foram múltiplos os estudos clínicos que avaliaram diferentes tipos de abordagens para esses dentes e o tratamento inclui desde a não intervenção até o preparo de coroa total (6). Uma das técnicas que tem sido preconizada nos últimos anos é a preparação da trinca para tentar dissecá-la, buscando assim cortar o braço de alavanca da trinca e, com isso, diminuir a possibilidade de sua propagação e de uma eventual fratura do dente (12). Os resultados deste estudo nos indicam que se obteria um benefício do ponto de vista biomecânico ao preparar as trincas e depois restaurá-las com resina composta, já que o dente estaria menos sujeito a tensões de tração e cisalhamento. Considerando as hipóteses nulas apresentadas neste estudo, podemos dizer que a primeira hipótese nula foi rejeitada, já que a preparação da trinca e sua restauração afetam sim o comportamento biomecânico do dente.

De acordo com o presente estudo, existe uma diferença importante do ponto de vista do comportamento biomecânico do dente entre preparar ou não a trinca horizontal, independentemente do tipo de restauração que a ser realizada (inlay ou overlay). Essa informação, mesmo que em estudo in sílico é relevante, já que até ainda não existe nenhum estudo que avalie a preparação de trincas horizontais em dentes. Foram encontrados na literatura quatro artigos que avaliaram através do método dos elementos finitos a influência das trincas verticais e os efeitos de técnicas restauradoras (22–25), no entanto, somente um dos estudos realizaram uma análise com restaurações parciais (25), sendo os outros estudos modelos com coroas totais e restaurados com retentores intraradiculares.

Sabemos que ao eliminar o tecido dentário, o comportamento biomecânico do dente vai mudando, pois este se torna mais propenso à fratura (26). Levando isso em conta, o resultado deste estudo em relação à preparação de trincas vai contra isso, já que essa técnica implica inevitavelmente a eliminação de tecido dentário saudável, o que levaria a pensar que poderia ser prejudicial para o comportamento biomecânico do dente. Como vemos nos resultados, independentemente do tipo de restauração a ser realizada, a

preparação das trincas reduziu a tensão de tração em 48% e 58% para inlay e overlay, respectivamente; e a tensão de cisalhamento em 60% e 77% para inlay e overlay, respectivamente. Quanto à deformação máxima, não houve grandes diferenças importantes (-7 à 8%) entre preparar ou não a trinca. Esse fenômeno pode ser explicado, em primeiro lugar, pela força utilizada na carga do modelo, já que, ao ser um modelo restaurado adesivamente, este se comporta como um corpo compacto, unido pela restauração e a força aplicada não foi suficiente para separar os segmentos justapostos à trinca. Em segundo lugar, a força foi aplicada apenas em um ponto específico, de modo que a maior deformação encontrada foi especificamente no local onde a força foi aplicada e não foi suficiente para ser transferida para o volume completo do modelo.

Kim e colaboradores em 2021 (25), realizaram um estudo comparando técnicas restauradoras para dentes que apresentavam fraturas verticais. Eles observaram que restaurações cerâmicas inlay e onlay, e coroa de ouro com preenchimento de resina dentro, são métodos vantajosos para prevenir a propagação de trincas em um dente trincado, no entanto nos resultados do trabalho pode-se observar não haver diferenças significativas nas tensões de dentes restaurados com inlay ou onlay cerâmicas, e estes foram os modelos que apresentaram menores valores de tensão. Fato este que corrobora com os achados do presente estudo, onde não foi possível verificar uma melhora nas tensões quando se realiza o preparo de cúspides.

A segunda hipótese nula foi então aceita, pois os resultados deste estudo indicam que o recobrimento de cúspide não afeta significativamente o comportamento biomecânico do dente. O recobrimento de cúspides é uma técnica que tem sido amplamente utilizada para restaurar dentes com trincas, uma vez que se busca com isso a verticalização das forças, o que permitiria que o dente, durante a função mastigatória, não receba forças de deflexão da cúspide, mas sim forças verticais que se propagam em direção ao centro do dente. No presente estudo, o recobrimento de cúspide não resultou em melhoria no comportamento biomecânico dos dentes com trinca, pois não houve diferenças significativas de tensões entre os dois modelos, inlay e overlay. Estes resultados contrastam com os de LIN et al. 2008, um estudo no qual foi

analisado, por meio de elementos finitos, o comportamento biomecânico de pré-molares com fratura cuspídea palatina e cavidade MODP restaurados com recobrimento de cúspide vestibular e diferentes materiais. Neste estudo, concluiu-se que se o revestimento cuspídeo for considerado, pelo menos 1,5 mm da cúspide deve ser coberto para reduzir os valores de estresse gerados no modelo, em contraste com nosso estudo, no qual não encontramos diferenças significativas no comportamento das tensões entre cobrir ou não cobrir a cúspide. No estudo de Kakka et al. 2022 (27), uma revisão narrativa do tratamento do dente com fissura, foi observada a variabilidade de tratamentos existentes para esse fenômeno, e o pouco consenso que existe para sua abordagem. Se falarmos do ponto de vista clínico, o recobrimento de cúspides geralmente é realizado em pacientes com sintomas dolorosos à flexão cuspídea. Esses tratamentos variam desde apenas o revestimento, como um overlay, até coroas de cobertura total. Neste estudo, concluiu-se que há evidências fracas de que a cobertura cuspídea seja vantajosa, especialmente no que diz respeito a falhas na restauração, o que está de acordo com os resultados de nosso estudo, no qual o recobrimento de cúspide não influenciou positivamente o comportamento biomecânico do dente.

O presente estudo apresenta algumas limitações. Primeiro, as trincas dentárias reais têm formato irregular, são difíceis de detectar na clínica, fazendo com que a sua modelagem tridimensional seja complicada. Além disso, a sua extensão é variável e as condições da oclusão dentária são principalmente danos complexos por fadiga que não foi simulada no presente estudo. Estudos adicionais sobre danos cíclicos de trincas com impacto dinâmico ainda são necessários para simular de forma mais realista a situação de força real da trinca em vez de carga estática.

Segundo, não consideramos cavidades de diferentes formas e dimensões, além de não avaliarmos possíveis efeitos da contração de polimerização da resina utilizada para restaurar o preparo de trinca. Todos os modelos foram considerados lineares tanto para as propriedades mecânicas dos materiais quanto para o tipo de contato entre as estruturas, que foram considerados perfeitamente colados.

CONCLUSÃO

Considerando as possibilidades de um estudo in sílico, pode-se concluir que:

O recobrimento de cúspide não influenciou positivamente o comportamento biomecânico de molares com cavidades MOD e trinca horizontal

O preparo de trinca diminuiu as tensões de tração e cisalhamento na região da trinca, sem influência significativa na deformação do dente.

O recobrimento de cúspide e preparo de trinca não influenciaram significativamente a deformação do dente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cameron CE. Cracked-tooth syndrome. The Journal of the American Dental Association. março de 1964;68(3):405–11.
2. Lubisich EB, Hilton TJ, Ferracane J. Cracked teeth: A review of the literature. Journal of Esthetic and Restorative Dentistry. junho de 2010;22(3):158–67.
3. Braly B V, Maxwell EH. Potential for tooth fracture in restorative dentistry. J Prosthet Dent. abril de 1981;45(4):411–4.
4. Abou-Rass M. Crack lines: the precursors of tooth fractures - their diagnosis and treatment. Quintessence Int Dent Dig. abril de 1983;14(4):437–47.
5. Zuckerman GR. The cracked tooth. N Y State Dent J. 1998;64(6):30–5.
6. Zhang S, Xu Y, Ma Y, Zhao W, Jin X, Fu B. The treatment outcomes of cracked teeth: A systematic review and meta-analysis. Vol. 142, Journal of Dentistry. Elsevier Ltd; 2024.
7. Geurtsen W, Schwarze T, Günay H. Diagnosis, therapy, and prevention of the cracked tooth syndrome. Quintessence Int. junho de 2003;34(6):409–17.
8. Talim ST, Gohil KS. Management of coronal fractures of permanent posterior teeth. J Prosthet Dent [Internet]. fevereiro de 1974;31(2):172–8. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0022391374900523>
9. Silvestri AR, Singh I. Treatment rationale of fractured posterior teeth. J Am Dent Assoc. 1978;97(5):806–10.
10. Yap EXY, Chan PY, Yu VSH, Lui JN. Management of cracked teeth: Perspectives of general dental practitioners and specialists. J Dent. 1º de outubro de 2021;113.
11. Hilton TJ, Funkhouser E, Ferracane JL, Schultz-Robins M, Gordan V V, Bramblett BJ, et al. Recommended treatment of cracked teeth: Results from the National Dental Practice-Based Research Network [Internet]. Disponível em: <http://www.nationaldentalpbrn.org/collaborative-group.php>.
12. Hovander D, Chyz G, Shimada Y, Tagami J, Sadr A. Optical coherence tomography evaluation of deep dentin crack removal techniques. JADA Foundational Science. 2022;1:100012.

13. Trivedi S. Finite element analysis: A boon to dentistry. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2014;4(3):200–3.
14. Knop L, Gandini LG, Shintcovsk RL, Gandini MREAS. Scientific use of the finite element method in Orthodontics. *Dental Press J Orthod.* 2015;20(2):119–25.
15. Jang Y, Hong HT, Roh BD, Chun HJ. Influence of apical root resection on the biomechanical response of a single-rooted tooth: a 3-dimensional finite element analysis. *J Endod.* 2014;40(9):1489–93.
16. Lotti RS, Machado AW, Mazzeiro ÊT, Landre Júnior J. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial.* 2006;11(2):35–43.
17. Lin CL, Chang YH, Liu PR. Multi-factorial analysis of a cusp-replacing adhesive premolar restoration: A finite element study. *J Dent.* março de 2008;36(3):194–203.
18. Park JH, Choi NS. Equivalent Young's modulus of composite resin for simulation of stress during dental restoration. *Dent Mater.* fevereiro de 2017;33(2):e79–85.
19. Trindade FZ, Valandro LF, de Jager N, Bottino MA, Kleverlaan CJ. Elastic Properties of Lithium Disilicate Versus Feldspathic Inlays: Effect on the Bonding by 3D Finite Element Analysis. *Journal of Prosthodontics.* 2018;27(8):741–7.
20. Lan T hsun, Pan CY, Lee HE, Huang H li, Wang CH. Bone stress analysis of various angulations of mesiodistal implants with splinted crowns in the posterior mandible: a three-dimensional finite element study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;25(4):763–70.
21. Rodrigues M de P, Soares PBF, Gomes MAB, Pereira RA, Tantbirojn D, Versluis A, et al. Direct resin composite restoration of endodontically-treated permanent molars in adolescents: bite force and patient-specific finite element analysis. *J Appl Oral Sci.* 2020;28:e20190544.
22. Feng J, Chai M, Zhang K, Liu J, Li X. Influence of restorative materials on the mechanical properties of maxillary first molars with different degrees of cryptic fractures and defects: A finite element analysis. *Dent Mater J.* 2024;43(1):97–105.
23. Sun J, Jiang J, Xue Z, Ma H, Pan J, Qian K. Mechanical properties of cracked teeth with different dental materials and crown parameters: An in

- vitro proof-of-concept. J Mech Behav Biomed Mater. 1º de setembro de 2023;145.
24. Jiang J, Sun J, Ma H, Wang J, Huang Z, Zhou S. Stress intensity factor of a cracked molar restored with different materials and designs: A 3D-FEA. J Mech Behav Biomed Mater. 1º de junho de 2023;142.
 25. Kim SY, Kim BS, Kim H, Cho SY. Occlusal stress distribution and remaining crack propagation of a cracked tooth treated with different materials and designs: 3D finite element analysis. Dental Materials. 1º de abril de 2021;37(4):731–40.
 26. Dietschi D, Duc O, Krejci I, Sadan A. Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: a systematic review of the literature--Part 1. Composition and micro- and macrostructure alterations. Quintessence Int. outubro de 2007;38(9):733–43.
 27. Kakka A, Gavril D, Whitworth J. Treatment of cracked teeth: A comprehensive narrative review. Clin Exp Dent Res. 9 de julho de 2022;(June).