



UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS - UniEVANGÉLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

VICTÓRIA DE ANDRADE DALLARA SATO

**ANÁLISE *IN SILICO* DO PREPARO DE TRINCA E DO RECOBRIMENTO DE
CÚSPIDE NO COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DE MOLARES COM
TRINCA VERTICAL**

ANÁPOLIS

2024

VICTÓRIA DE ANDRADE DALLARA SATO

**ANÁLISE *IN SILICO* DO PREPARO DE TRINCA E DO RECOBRIMENTO DE
CÚSPIDE NO COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DE MOLARES COM
TRINCA VERTICAL**

Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Evangélica de Goiás apresentado à banca de defesa de mestrado.

Área de concentração: Clínica Odontológica

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho

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

ANÁPOLIS

2024

|

S253

Sato, Victória de Andrade Dallara.

Análise *in silico* do preparo de trinca e do recobrimento de cúspide no comportamento biomecânico de molares com trinca vertical / Victória de Andrade Dallara Sato – Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás – UniEvangélica, 2024.

46 p.; il.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho

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

Dissertação (mestrado) – Programa de pós-graduação em Odontologia – Universidade Evangélica de Goiás – UniEvangélica, 2024.

- | | |
|-------------------------------|----------------------------------------|
| 1. Síndrome do dente quebrado | 2. Restauração dentária permanente |
| 3. Coroa dentária | 4. Análise de elementos finitos |
| I. Carvalho, Marco Aurélio de | II. Lazari-Carvalho, Priscilla Cardoso |
| II. Título | |

CDU 616.314

Catálogo na Fonte

Elaborado por Rosilene Monteiro da Silva CRB1/3038

Formatado: À esquerda, Espaçamento entre linhas: simples



FOLHA DE APROVAÇÃO

**ANÁLISE IN SILICO DO PREPARO DE TRINCA E DO RECOBRIMENTO DE CÚSPIDE
NO COMPORTAMENTO
BIOMECÂNICO DE MOLARES COM TRINCA VERTICAL
VICTÓRIA DE ANDRADE DALLARA SATO**

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 28 de maio de 2024.

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

Banca examinadora

Assinado de forma digital por
MARCOS AURELIO DE
CARVALHO:02723329178
Data: 2024.05.30 20:54:05
-03'00'

Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho

Documento assinado digitalmente
gov.br ORLANDO AGUIRRE GUEDES
Data: 24/05/2024 16:08:00-0300
Verificar em <https://validar.sig.br>

Prof. Dr. Orlando Aguirre Guedes

Documento assinado digitalmente
gov.br ALLISSON FILIPE LOPES MARTINS
Data: 26/05/2024 18:04:08-0300
Verificar em <https://validar.sig.br>

Prof. Dr. Allisson Filipe Lopes Martins

DEDICATÓRIA

À Nosso Senhor Jesus Cristo e Nossa Senhora, seguros refúgios e alicerces; os Quais devo toda minha inteligência, sabedoria, paciência, e capacidade para realizar esse projeto, auxiliando-me nos momentos que mais necessito e dando-me fortaleza para continuar.

Aos meus pais, Elislaine de Andrade Miranda e Paulo Dallara Sato, os quais devo toda minha vida, agradeço o carinho e compreensão; por formarem-me com bons hábitos e valores que me ajudaram a sair adiante buscando sempre o melhor caminho; e por todo incentivo e apoio em todos os momentos durante a realização do meu Mestrado.

Aos meus professores, fonte de exemplo; os quais me deram apoio bem como sabedoria que me transmitiram ao longo da minha formação, em especial pelo meu orientador Marco Aurélio de Carvalho, por ter conduzido o desenvolvimento deste trabalho com maestria e alcançado a excelência do mesmo.

AGRADECIMENTOS

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

Ao meu orientador, Professor Doutor Marco Carvalho, por toda dedicação, atenção, cuidado e empenho em cuidar com muito esmero da orientação do meu trabalho.

À minha co-orientadora, Professora Doutora Priscilla Lazari-Carvalho, por toda atenção e dedicação durante a orientação do trabalho.

À FAPEG pela bolsa disponibilizada e pelo incentivo às pesquisas feitas neste trabalho.

À Profa Dra Altair A. Del Bel Cury e ao Laboratório de Elementos Finitos da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – Unicamp, pela disponibilidade de utilização dos *softwares* para a realização da pesquisa.

Agradeço a todos os integrantes da equipe de professores que compõem a Pós-graduação da Faculdade Evangélica de Goiás.

Desejo igualmente agradecer a todos os meus colegas do Mestrado Odontologia da Turma 2021/2023 pela parceria durante esse período.

EPÍGRAFE

“Transmiti o que recebi”.
Dom Marcel Lefebvre

SUMÁRIO

SUMÁRIO DE ABREVIACÕES.....	9
RESUMO.....	1
0	
ABSTRACT.....	1
1	
1. INTRODUÇÃO	12
2. JUSTIFICATIVA	14
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. OBJETIVO GERAL	15
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
4.1. SÍNDROME DO DENTE TRINCADO.....	16
4.2. ELEMENTOS FINITOS EM PESQUISA ODONTOLÓGICA.....	19
5. HIPÓTESES.....	22
6. METODOLOGIA.....	23
6.1. TIPOLOGIA DO ESTUDO.....	23
6.2. DESENHO DO ESTUDO.....	23
6.3. LOCAL.....	25
6.4. PROCEDIMENTOS REALIZADOS	25
6.8.1. PRÉ-PROCESSAMENTO	25
6.4.1.1.1. <i>Modelagem das estruturas</i>	26
6.4.1.1.2. <i>Propriedades dos materiais</i>	30
6.4.1.1.3. <i>Geração da malha</i>	32
6.4.1.1.4. <i>Condições de contorno e carregamento</i>	34
6.4.1. PROCESSAMENTO.....	35
6.4.2. PÓS-PROCESSAMENTO	35
7. RESULTADOS	36
8. DISCUSSÃO.....	42
9. CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

SUMÁRIO DE ABREVIações

SDT: Síndrome do Dente Trincado

FEA: Finite Element Analysis

MEF: Método de Elementos Finitos

InSp: Inlay Sem preparo

OvSp: Overlay Sem preparo

InCp: Inlay Com preparo

OvCp: Overlay Com preparo

AAE: Associação Americana de Endodontia

MPa: unidade de medida de tensão; MegaPascal

GPa: unidade de medida de tensão; GigaPascal

mm: unidade de medida de comprimento; milímetros

µm: unidade de medida de comprimento; micrômetros

MOD: preparo de cavidade; méso-ocluso-distal

STL: formato de arquivo para impressão 3D; Standard Triangle Language

[CEPInova: Centro de Excelência em Pesquisa e Inovação](#)

[LPBA-O: Laboratório de Pesquisa Básica e Aplicada em Odontologia](#)

RESUMO

O termo “Dente Trincado” é usado para descrever uma fratura incompleta de esmalte e dentina, de profundidade e direção desconhecidos podendo progredir para uma comunicação com polpa e/ou ligamento periodontal. Sendo assim, é importante saber qual a melhor estratégia de tratamento para cessar a sintomatologia dolorosa e evitar uma fratura completa. O objetivo desse estudo foi de avaliar a influência do preparo da trinca e do recobrimento de cúspide nas tensões e deformações de molares pelo método de elementos finitos tridimensionais. Em programa de desenho gráfico tridimensional (SolidWorks 2018), um protótipo de molar humano inferior foi construído e restaurado com as 4 abordagens 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. Os modelos foram exportados para software específico de análise por elementos finitos (Ansys Workbench) e propriedades mecânicas, malhamento, condições de contorno e carregamento foram adicionadas. Foi aplicada carga oclusal oblíqua (30°) estática de 131,9 N na vertente triturante vestibular do dente simulando o deslocamento para exercer a função de mastigação. Observou-se que as maiores tensões de tração e cisalhamento nos modelos com trinca não preparada. Ao se preparar a trinca, diminuiu-se a tração em 65%, e o cisalhamento em 35% na condição de inlay e 58% e 37% em overlay. Não foi observado grandes alterações nos modelos com preparo de trinca e recobrimento, bem como a deformação do dente nos modelos com e sem preparo.

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

ABSTRACT

The term "Cracked Tooth" is used to describe an incomplete fracture of enamel and dentin, its depth and direction, allowing it to progress towards communication with the pulp and/or periodontal ligament. Accordingly, it is important to know what the best treatment strategy is to stop painful symptoms and avoid a complete fracture. The objective was to validate the influence of the preparation of the table and the recovery of the crown of the tensions and deformations of the molars by the three-dimensional finite element method. In the three-dimensional graphic design program (SolidWorks 2018), a prototype of a human lower molar was built and restored with 4 models from a combination of 2 elements of study factors: 1- crack preparation at 2 levels: with and without preparation 2- cusp covering, at two levels: with and without covering. The models exported for specific analysis software for finite elements (Ansys Workbench) and mechanical properties, malfunction, contour conditions and carriage are added. The oblique occlusal load (30°) is applied at 131.9 N on the vestibular grinding surface of the tooth, simulating displacement to practice the mastication function. Observe that the higher tensions of traction and loading of our models with a seat is not prepared and with recovery. Preparing the crack there was decrease the traction to 65%, and the adjustment to 35% in the inlay condition and 58% and 37% in the overlay. It was not observed any major alterations to the models while preparing the crimp and recovery, as well as the deformation of the models' teeth with or without preparation.

Keyword: Permanent Dental Restoration, Cracked Tooth Syndrome, Tooth Crown, Finite Element Analysis

1. INTRODUÇÃO

A trinca dentária consiste em uma fratura incompleta, que pode envolver esmalte e dentina, podendo progredir para uma comunicação com a polpa e/ou ligamento periodontal (1). Essa rachadura rompe a continuidade da dentina, mas os segmentos não se separam perceptivelmente, mantendo-se unidos por uma porção da estrutura dental (2,3), e como apresenta profundidade e direção desconhecidas, correspondente a um estágio intermediário, pode progredir para uma fratura completa, danificando a integridade da estrutura dental. O paciente, na maioria dos casos, apresenta sintomatologia dolorosa, com desconforto durante a mastigação, sensibilidade ao frio, e com histórico de sucessivas visitas ao dentista, sem alívio dos sintomas(4). À medida que aquelas se desenvolvem, bactérias e biofilmes podem formar-se, eventualmente progredindo em direção à polpa e resultando em necrose pulpar e em casos mais severos, quando não tratadas, resultam em falhas catastróficas e perda dentária, desde a fratura até à exodontia (5).

Recentemente, a Associação Americana de Endodontia (AAE) redefiniu a classificação das fraturas, visto que houve um aumento exponencial de dentes trincados e fraturas verticais de raiz quando comparado à última década (6). Má oclusão, hábitos para funcionais e bruxismo e eventos de cunha combinados com forças repetitivas são todos potenciais para trincas dentárias. Nos dentes posteriores, uma das causas das fraturas pode ser a evolução de rachaduras não identificadas que afetam inclusive dentes hígidos (7).

A importância do diagnóstico precoce deve ser bem destacada, uma vez que o atraso tem sido associado ao aumento da taxa de complicações pulpares. Essa síndrome pode ser confirmada através de diversos métodos, incluindo inspeção visual sob ampliação, coloração, transiluminação, testes de mordida, autofluorescência, tomografia de coerência óptica, percussão quantitativa, lasers, estímulo à frio, sondagem dentre outros (8,9). Dentre as modalidades de tratamento, restaurações podem ser feitas com ou sem recobrimento de cúspide sendo denominadas restaurações do tipo *inlay* (uma cavidade que não abrange nenhuma cúspide) ou *onlay/overlay* (cavidade que abrange uma ou todas as cúspides e, portanto, requer recobrimento oclusal

total), respectivamente. Paredes residuais podem se tornar muito delgadas para suportar o estresse mastigatório, sendo apropriado a indicação de recobrimento de cúspide (10). Em um estudo realizado entre 207 cirurgiões-dentistas frente a casos de dente trincado, mais de 70% recomendam o recobrimento de cúspide, tendo em vista a reversibilidade do quadro de pulpite apresentada pelo paciente(11). Apesar disso, há ressalvas, visto que dentes com vitalidade e com coroas têm um certo risco aplicado a um tratamento endodôntico futuro devido ao estímulo sofrido pela polpa durante o preparo(12).

Uma restauração biomimética é aquela que protege a estrutura dentária remanescente (13). A tentativa de diminuir o risco de fraturas verticais através de abordagens restauradoras adesivas requer de mais estudos para se tornar uma opção viável clinicamente. Um tratamento menos invasivo para dentes vitais com presença de trinca é a remoção desta por meio de uma broca, seguido de restauração (14). Uma dessas abordagens é o preparo da trinca, para posterior restauração adesiva dela, no intuito de ligar as duas partes separadas do dente. Entretanto, ainda há a preocupação dessa trinca se propagar sob estresse, vibração e calor gerado durante essa técnica, sendo uma situação corriqueiramente apresentada no consultório odontológico e que deve ser estudada de modo mais profundo.

Análise de Elementos Finitos (FEA) é uma ferramenta de pesquisa significativa e para análises biomecânicas e pesquisas biológicas(15). É um método efetivo para prever a distribuição de estresse dos materiais em resposta a um carregamento pré-estabelecido, sem afetar as propriedades físicas do material analisado, além de ser facilmente reproduzível. Em Odontologia muitas estruturas são dinamicamente afetadas pela força oclusal, e a FEA se mostrou muito útil avaliando a distribuição de estresse de implantes e materiais restauradores (16)

Apesar da Síndrome do Dente Trincado (SDT) ser muito estudada e abordada na literatura, ainda não há estudos sobre a análise do efeito do preparo da trinca e do recobrimento da cúspide no comportamento

biomecânico de molares com trinca vertical utilizando elementos finitos tridimensionais, tendo sido, dessa forma, o objetivo desse estudo.

2. JUSTIFICATIVA

Apesar da SDT ser um assunto muito discutido na literatura (17), pouco se sabe do seu efeito em diferentes abordagens com ou sem o preparo da trinca para a restauração de dente trincado com e sem cobertura de cúspide. Sendo assim os dados obtidos do presente estudo ajudaram a elucidar a necessidade de recobrir cúspide ou preparar a trinca ao se restaurar um molar com trinca vertical.

Este trabalho visou comparar os recobrimentos de cúspide intracoronárias (inlay e overlay) e preparo de trinca em molar com trinca vertical. Foi usado, como método, a análise por elementos finitos, onde foi possível observar a dissipação de forças e tensões no remanescente dentário.

Os resultados deste trabalho são importantes para a prática clínica do cirurgião-dentista, levando em consideração que o mesmo poderá lançar mão da melhor abordagem possível para cada condição clínica simulada, seja o preparo da trinca ou recobrimento de cúspide, onde haja maior distribuição de tensão nas estruturas dentárias, na reabilitação de um paciente.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

- Analisar ~~pele método de elementos finitos tridimensionais biomecanicamente~~ o efeito do preparo de trinca e do recobrimento de cúspide nas tensões e deformações e comportamento biomecânico de molares com trinca vertical ~~pele método de análise por elementos finitos tridimensionais. Avaliar quantitativa e qualitativamente a magnitude da dissipação de tensões na deformação do dente.~~

3.2. Objetivos específicos

- Avaliar como o preparo e restauração de trinca vertical afetam a quantidade e dissipação de tensão máxima principal (tração), tensão máxima de cisalhamento e deformação do dente com trinca vertical;
- Avaliar como o recobrimento de cúspide afeta a quantidade e dissipação de tensão máxima principal (tração), tensão máxima de cisalhamento e deformação do dente simulado com trincas verticais.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Síndrome do Dente Trincado

Cameron (1964), em um estudo *in vitro*, analisou 50 dentes de pacientes que apresentavam dor; no entanto, não havia cáries, a polpa se encontrava vital e as restaurações estavam em boas condições. Nas observações do autor, a presença de amálgama, a profundidade da cavidade e a força de mastigação foram fatores relevantes para a causa de uma trinca no elemento dentário. Além disso, notou-se que fraturas localizadas mais centralmente pareciam seguir a linhas dos túbulos dentinários em direção à polpa, causando exposição pulpar em alguns casos. Já as trincas mais periféricas levariam à fratura de cúspide, com ou sem exposição pulpar, a depender da quantidade de dentina presente.

Monteiro Jr *et al* (2002), em uma revisão de literatura, descreveram detalhadamente os fatores e cofatores predisponentes para a ocorrência da síndrome do dente rachado, as técnicas utilizadas para diagnóstico e os tipos de tratamento. Para os autores, a síndrome ainda é um mistério e uma fonte de desconforto para o paciente. Frequentemente, as fraturas são iatrogênicas e, por isso, os profissionais devem tomar o cuidado para não as provocar e quando ocorrerem, saber diagnosticá-las e tratá-las convenientemente.

Rateliff *et al* (2001), em um estudo *in vivo*, identificaram o tipo e a incidência de rachaduras mais comuns em dentes posteriores e os possíveis fatores etiológicos. Um levantamento em 51 pacientes, durante um período de 18 meses foi realizado. A avaliação foi feita com lentes de aumento, transiluminação e exame clínico com sonda exploradora. Tais rachaduras foram divididas em 4 grupos: tipo 1, em dentes posteriores sem restaurações, pigmentações e nenhum sintoma; tipo 2, dentes posteriores com restaurações Classe I e II, sem pigmentação ou sintomas; tipo 3, rachaduras pigmentadas, em dentes com ou sem restaurações, com leve sensibilidade à alteração de temperatura ou doces; e tipo 4, rachaduras que promovam dor durante abertura e fechamento da boca bem como sensibilidade à alteração de

temperatura e doces (Síndrome do Dente Trincado). Segundo os autores, as rachaduras têm uma cronicidade e podem ser classificadas de acordo com a aparência. Variáveis como a presença de restaurações e interferências oclusais aumentam significativamente a ocorrência. Os resultados deste estudo sugeriram que as restaurações tornam os dentes 29 vezes mais propensos à fratura. As interferências oclusais foram as causas de rachaduras em dentes restaurados. Além disso, a presença de pigmentação e sintomatologia dependem da idade do paciente.

Lynch e McConnell (2002), em uma revisão de literatura, descreveram as características clínicas, a forma de diagnóstico e as opções de tratamento mais apropriadas para elementos com a Síndrome do Dente Rachado. De acordo com os autores, a patologia se refere a uma fratura incompleta que ocasionalmente se estende à polpa, cujo principal sintoma inclui uma sensação de desconforto ou dor durante a mastigação de alimentos duros. Geralmente, o paciente tem dificuldade de identificar o dente envolvido, o que torna mais difícil o diagnóstico. Para os autores, o sucesso do tratamento depende do conhecimento da existência da doença e apropriados testes de diagnóstico, variando conforme a natureza dos sintomas e a extensão da lesão, desde simples monitoramento até a exodontia do elemento dental.

Opdam e Roeters (2003) investigaram a eficácia clínica das restaurações diretas de resina composta, com ou sem cobertura de cúspide, para o tratamento de dentes rachados. Quarenta dentes, em 39 pacientes, foram tratados. Os critérios de inclusão foram sensibilidade ao frio, à mastigação e rachadura visível clinicamente, após a remoção de restauração. Vinte dentes foram restaurados com cobertura de cúspide e os outros 20 dentes sem cobertura de cúspide. Os pacientes foram avaliados após 1 semana, 5 semanas e 6 meses. De acordo com as avaliações, não houve diferença estatisticamente significativa entre os dentes tratados com ou sem proteção de cúspides.

Segundo um levantamento sobre trincas dentárias (19), a prevalência dessa trinca é de cerca 80% dos pacientes com idade próxima aos 40 anos de idade. Pacientes com dentes trincados frequentemente apresentam histórico

de sintomas variáveis, às vezes mal localizados nos casos em que a polpa já foi afetada e com diferentes níveis de dor. O autor relata, ainda, que o prognóstico geral, em caso de dentes vitais com trinca dentária é muito bom, mas que requer monitoramento constante da vitalidade da polpa, visto que, com o tempo, o biofilme pode penetrar diretamente por meio da trinca ou de modo adjacente através de túbulos dentinários e eventualmente causar necrose pulpar, no qual 21 a 29% dos casos requererá tratamento endodôntico.

A perda severa, em adultos, por trincas dentárias, tornou-se a terceira causa de perdas dentárias depois de doenças periodontais e cáries (20). As opções de tratamento restaurador variam muito, a depender da extensão da trinca e da condição do paciente.

Kim *et al.* (2021) em uma pesquisa *in silico*, analisou seis modelos envolvendo trincas dentárias e recobrimentos de cúspide do tipo inlay e onlay, associados à resina composta direta, resina composta indireta e cerâmica; e dois modelos com coroas totais de ouro em dois níveis: com e sem resina de preenchimento depois de remover a trinca, totalizando 8 modelos. De todos os materiais analisados, observou que nos modelos com resina direta e indireta o estresse oclusal foi bem absorvido já que apresentava um baixo módulo de elasticidade em comparação com as cerâmicas, que apresentaram maior resistência à fadiga por flexão, sugerindo uma vida clínica mais longa e menor degradação por fadiga sob cargas normais de mastigação. Relataram ainda que as maiores tensões se concentraram nos modelos de inlay e que quase inteiramente se transferiram para as paredes da cavidade. Por outro lado, os modelos com resina direta ou indireta – não tiveram diferença significativa de distribuição de força – tiveram menor estresse e distribuição de força mais uniforme.

4.2. Elementos finitos em pesquisa odontológica

Uma ferramenta de pesquisa bastante significativa nas análises biomecânicas em odontologia é o método de elementos finitos (MEF). Este é um método definitivo para modelar complexas estruturas, analisando suas propriedades mecânicas (15). O método de elementos finitos é um recurso de engenharia usado para calcular tensões e deformação de estruturas complexas e tem sido amplamente utilizado nas pesquisas em odontologia (21). O desenvolvimento do MEF teve suas origens no final do século XVIII visando a solução de problemas matemáticos. O desenvolvimento prático desta análise ocorreu somente após o avanço tecnológico com o advento da computação. Em 1960 utilizou-se pela primeira vez o nome de MEF, a partir daí houve grande desenvolvimento do método, sendo utilizado em diversas áreas como: engenharia, medicina, odontologia e outras(15). Na reabilitação oral, com este método é possível analisar a aplicação de forças em diferentes condições clínicas, desenhos de preparos e materiais odontológicos restauradores, avaliando os tecidos envolvidos evitando experimentos mais complexo com animais ou humanos o que necessitam de maior investimento e possui maior dificuldade de controle de viés.

Para a utilização deste método é necessária a construção de um modelo experimental do objeto que se deseja estudar. O objeto é desenhado graficamente por um programa de computador específico, como por exemplo o SolidWorks ou AutoCAD. A morfologia das estruturas modeladas pode ser baseada em Atlas de Anatomia, tomografias computadorizadas, crânios secos e/ou dentes extraídos. Este objeto é então discretizado em pequenos elementos finitos em programas específicos. Estes elementos representam coordenadas no espaço e são representados por uma figura geométrica, sendo que os tetraedros e hexaédricos são os mais comuns. Na extremidade de cada elemento encontram-se nós, que conectam os elementos em si formando uma malha em camadas bi ou tridimensionais. Para uma análise acurada das estruturas dento-maxilo-faciais o modelo tridimensional é o mais indicado, pois retrata as irregularidades da estrutura dentária, as cargas imprimidas, tensões

geradas e o deslocamento de todos os componentes do elemento dentário, esmalte, dentina e polpa e o resultado é observado nos três planos. Numa próxima etapa deve se determinar as propriedades físicas e mecânicas de cada estrutura constituinte do modelo. Estas características influenciarão o comportamento das respostas às aplicações de forças. Uma destas características é a capacidade do material reagir em razão de uma deformação. Estudos incluindo propriedades viscoelásticas e viscoplásticas seriam ideais (principalmente do ligamento periodontal), porém não são plenamente conhecidas, limitando sua utilização. Por isso os estudos são feitos com modelos linearmente elásticos. Nestes estudos a deformação de estruturas é diretamente proporcional à força aplicada. Outra classificação de propriedade dos materiais é se são isotrópicos (suas características mecânicas são as mesmas em todas as direções, em um mesmo ponto da estrutura), ortotrópicos (suas características mecânicas são as mesmas em duas direções e diferente em uma direção) e anisotrópico (características diferem em todas as direções). Define-se também o Coeficiente de Poisson, que se refere ao valor absoluto entre as deformações transversais e longitudinais de tração axial. O Módulo de Young representa a inclinação da porção linear do diagrama de tensão e deformação do material. Cada estrutura possui um valor calculado do Coeficiente de Poisson e do Módulo de Young (esmalte, dentina, polpa, osso cortical, osso esponjoso, ligamento periodontal, material odontológico). Depois de estabelecer as propriedades, é realizada a aplicação de carga necessária e análise dos resultados. O comportamento dos elementos é definido por equações algébricas, em que estes achados representam a distribuição de tensão e deformação do modelo. Para esta etapa são utilizados principalmente os seguintes softwares: Patran, Nastran, Cosmos e o Ansys. Os resultados são visualizados por escala de cores, onde cada tom, corresponde a uma quantidade de deslocamento ou tensão que foi gerada nas estruturas. Deste modo pode ser detectado como ocorreu o deslocamento, o tipo do movimento realizado, qual região foi mais deslocada, como as tensões foram dissipadas sobre as estruturas do dente, ou qualquer outro objeto de estudo. A escala de cores será previamente definida e os valores corresponderão à quantidade de

tensão e deslocamento presente no eixo avaliado. O MEF possui inúmeras vantagens se comparado a outros métodos de pesquisa, podendo ser utilizado em diversas aplicações(22). Porém para que ocorra a execução do método de forma correta é imprescindível o conhecimento da técnica (23).

Ainda segundo Trivedi (2014) a análise de elementos finitos (MEF) tem várias vantagens em comparação com estudos em modelos reais. Os experimentos são repetíveis, não há considerações éticas e os desenhos do estudo podem ser modificados e alterados conforme o requisito. Existem certas limitações da MEF também. É um estudo *in silico* computadorizado em que a condição clínica pode não ser completamente replicada. A análise de tensão é geralmente conduzida sob carga estática e as propriedades mecânicas dos materiais são definidas como isotrópicas e linearmente elásticas, embora não seja assim na realidade. Portanto, os resultados só podem ser reconhecidos de forma comparativa. Szwedowski e cols. compararam a MEF com modelos reais e descobriram que o modelo estava de acordo com as medidas do *strain gauge*. Tendo em mente essas limitações, pesquisas adicionais da MEF devem ser complementadas com avaliação clínica.

5. HIPÓTESES

As hipóteses ~~nulas (H0)~~ do presente estudo foram:

1. O preparo e restauração da trinca vertical ~~não~~ influenciam o comportamento biomecânico do dente trincado;
2. O recobrimento de cúspide ~~não~~ influencia o comportamento biomecânico do dente trincado.

6. METODOLOGIA

6.1. Tipologia do estudo

A modalidade desta pesquisa foi experimental por simulação computacional (*in silico*) com objetivo analítico, com ênfase tanto quantitativo (resultados da magnitude das tensões e deslocamentos) quanto qualitativo (resultados da análise descritiva da dissipação das tensões nas estruturas). Esse método é conhecido como Método dos Elementos Finitos (MEF) em três dimensões.

6.2. Desenho do Estudo

Com a finalidade de observar a influência do preparo da trinca e recobrimento de cúspide, foram obtidos 4 modelos tridimensionais pela combinação desses 2 fatores de estudo. O primeiro fator de estudo foi o preparo da trinca em 2 níveis: com e sem preparo. O segundo fator foi o recobrimento de cúspide, em dois níveis: com e sem recobrimento. Os modelos experimentais foram comparados de acordo com os fatores a partir de uma combinação fatorial (2x2).

Como variável resposta foram avaliados a deformação, a tração máxima no dente e o cisalhamento. O fluxo do estudo pode ser observado na Figura 1 e Quadro 1.

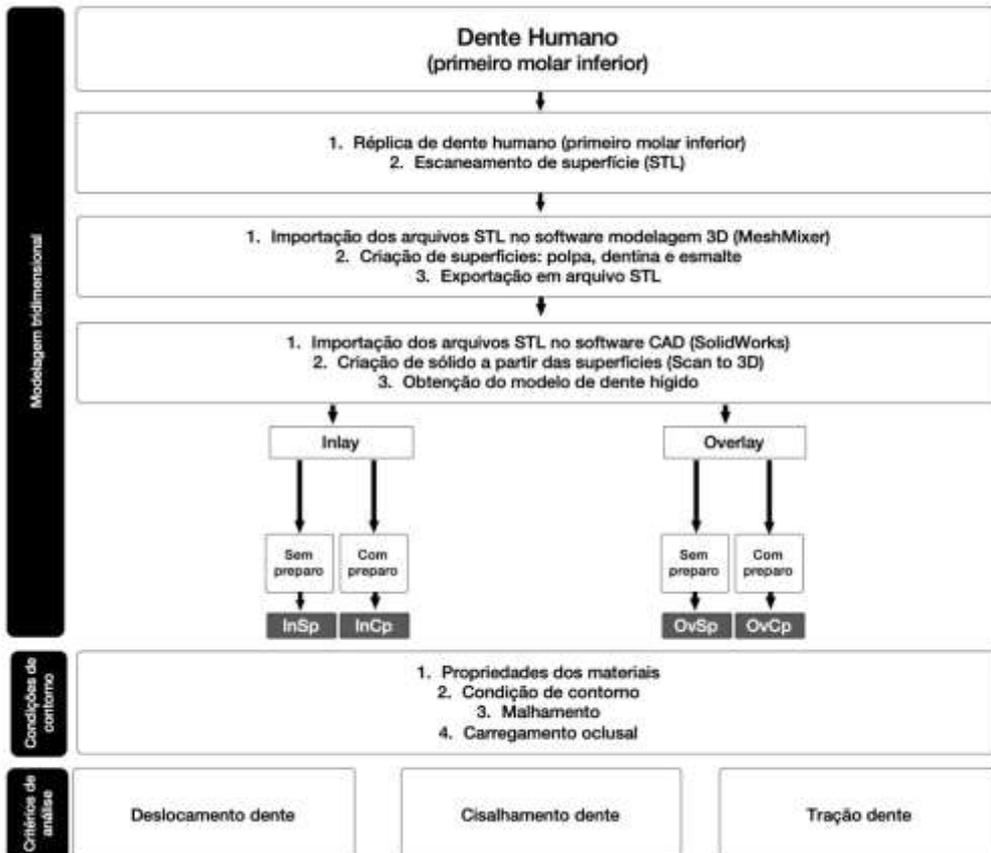


Figura 1: Fluxo do estudo

Fonte: Próprio autor

Quadro 1. Delineamento experimental dos 4 modelos do estudo.

Recobrimento de cúpide	Preparo da trinca	
	Com	Sem
Inlay (Sem)	InSp	InCp
Overlay (Com)	OvSp	OvCp

6.3. Local

As etapas de delineamento experimental, redação de projeto, tratamento estatístico dos resultados, redação de dissertação e redação de artigo científico foram realizados nas dependências do [Laboratório de Pesquisa Básica e Aplicada em Odontologia e Laboratório de Diagnóstico por Imagem do](#) –Centro de Excelência em Pesquisa e Inovação (CEPinova) da Universidade Evangélica de Goiás, localizado em Anápolis – Goiás. Os pesquisadores envolvidos no estudo dispuseram de todos os equipamentos necessários para o desenvolvimento deste projeto.

Para a execução do trabalho, foram utilizados o software de modelagem tridimensional SolidWorks 2018 (SolidWorksCorp., Concord, Massachusetts, [U.S.AEUA](#)) e software de análise pelo método dos elementos finitos Ansys (ANSYS Workbench 14, Ansys Inc., Canonsburg, Pennsylvania, [USA EUA](#)), 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 nas dependências do Centro Universitário UniEvangélica através do acesso remoto pelo aplicativo TeamViewer ao computador da instituição parceira, através da colaboração 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).

6.4. Procedimentos realizados

6.8.1. Pré-Processamento

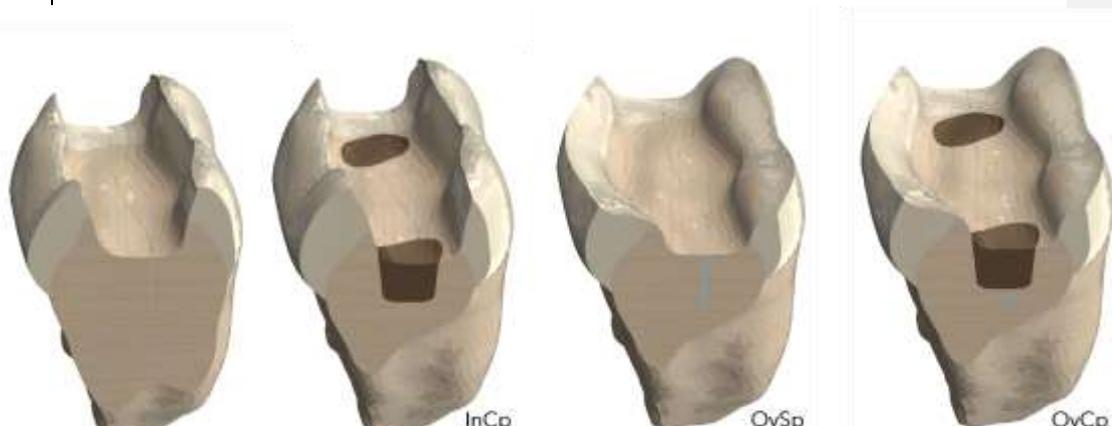
6.4.1.1.1. Modelagem das estruturas

Os modelos tridimensionais de um molar inferior 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 vertical 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 dentes preparados foram restaurados com resina composta, acrescido dos recobrimentos. Os modelos foram exportados para o programa de elementos finitos Ansys Workbench 14.0 (SwansonAnalysis Inc., Houston, PA, EUA) no formato. igs (InitialGraphics Exchange Specification - Especificação inicial de intercâmbio Gráfico) para a análise numérica.

A trinca consistiu em uma ruptura parcial mesiodistal no centro do dente. 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 mesiodistal com 3,5mm de profundidade. O preparo da trinca foi realizado até a remoção parcial da mesma, com caixas mesial e distal de 3mm vestibulolingual e 2 mm mesiodistal e 2,5 mm de profundidade conforme figura 2. Após o preparo da trinca, foi preenchido com resina composta o volume dessa região preparada (Figura 6). Para os modelos com redução oclusal, a mesma foi feita em 2 mm, por toda oclusal do dente com cavidade MOD. [As restaurações indiretas de inlay e overlay foram feitas em dissilicato de lítio.](#)

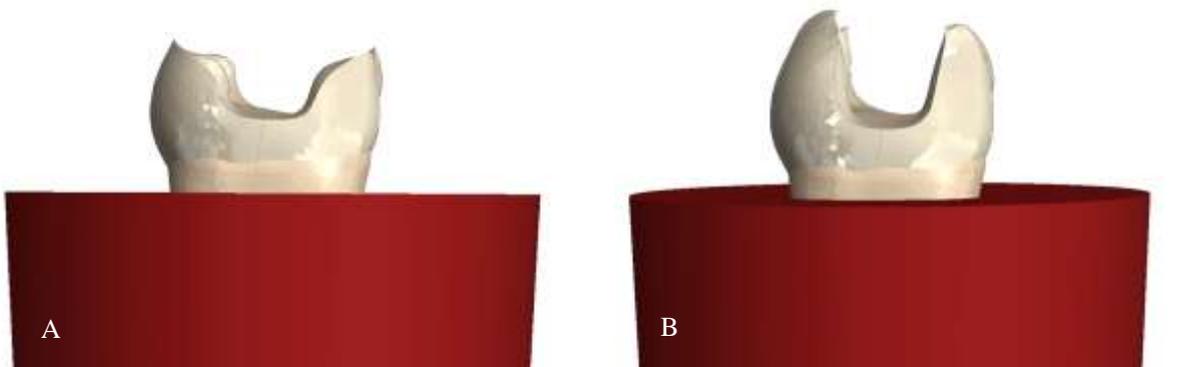
Formatado: Fonte: (Padrão) Arial





Formatado: Fonte: (Padrão) Arial

Figura 2: Secção dos modelos com preparo MOD para inlay (In) ou overlay (Ov), sem preparo (Sp) ou com preparo da trinca (Cp) e trinca mesiodistal no centro do dente.



Fonte: Próprio autor.

Figura 3: Modelos com inlay (In) ou overlay (Ov), sem preparo (Sp). A: modelo OvSp. B: modelo InSp.

Fonte: Próprio autor.

Formatado: Fonte: (Padrão) Arial

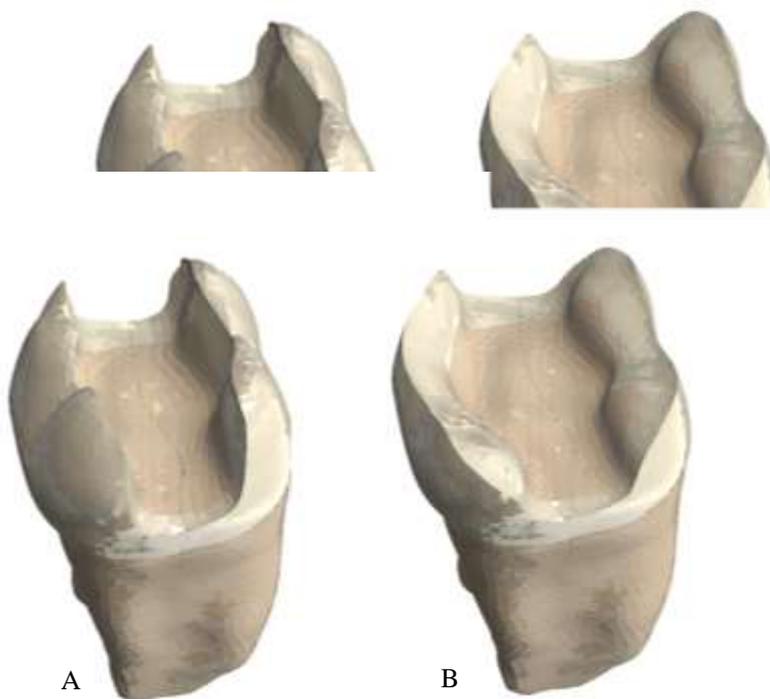


Figura 4: Modelos dos dentes com preparo MOD e trinca mesiodistal no centro do dente. A: modelo InSp. B: modelo OvSp.

Fonte: Próprio autor

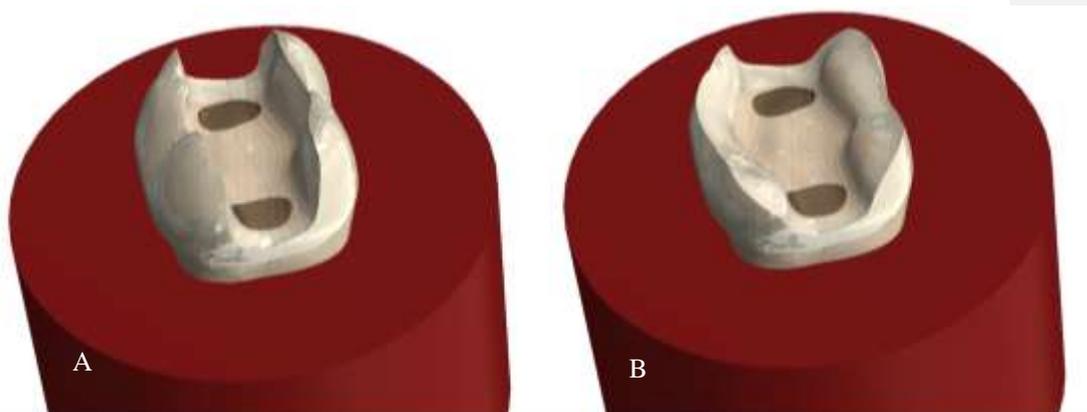


Figura 5: Modelos MOD inlay (In) ou overlay (Ov), com preparo (Cp) e trinca mesiodistal no centro do dente. A: modelo InCp. B: modelo OvCp

Fonte: Próprio autor

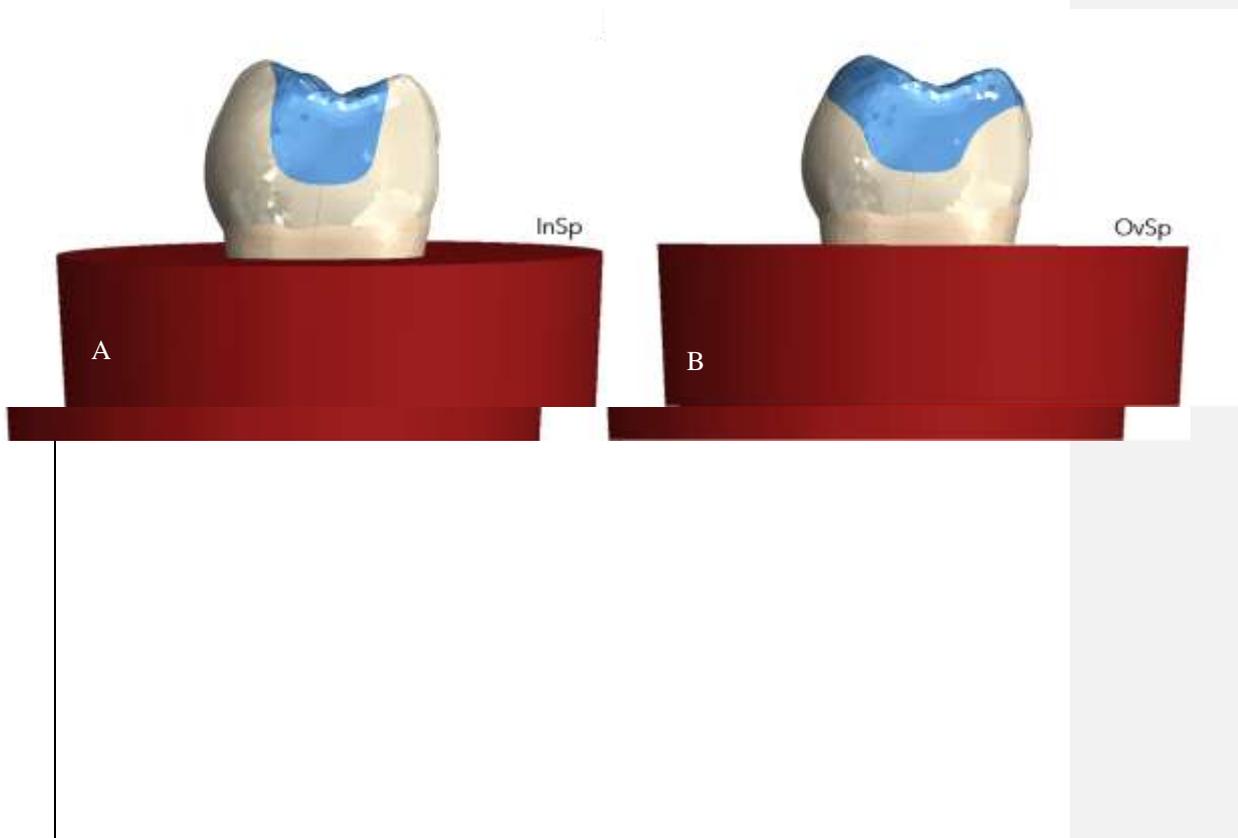


Figura 6: Modelos MOD restaurado com inlay (In) ou overlay (Ov), sem preparo (Sp) e trinca mesiodistal no centro do dente. A: Modelo InSP. B: Modelo OvSP

Fonte: Próprio autor

6.4.1.2. Propriedades dos materiais

Os componentes utilizados nesse estudo foram: resina acrílica, esmalte, dentina, polpa, resina composta e cerâmica. Os dados foram retirados da literatura a fim de obter uma padronização dos mesmos e facilitar comparação de resultados com outros estudos. As propriedades mecânicas de todas as estruturas estão disponíveis na literatura específica (Tabela 1). Todos os materiais foram considerados homogêneos, isotrópicos, linearmente elásticos e contínuos.

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

Material	Módulo de Elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson	Referência
Dentina	18,6	0,31	(24)
Esmalte	84,1	0,30	(24,25)
Polpa	0,002	0,45	(24)
Resina Acrílica	3,2	0,3	(26)
Dissilicato de lítio	83,5	0,21	(27)
Resina composta	16,8	0,26	(26)

GPA: GigaPascal

6.4.1.3. Geração da malha

A geração da malha compreende o processo de dividir a estrutura do modelo em um número finito de elementos (discretização) que são interconectados por pontos nodais os quais se encontram no sistema de coordenadas X, Y e Z, em que o conjunto resultante é denominado “malha”. A malha foi construída através da convergência de análise (5%)(28), a qual determinou em todos os modelos utilizando um elemento tetraédrico de tamanho de 0,3mm (figura 7). Todas as estruturas foram consideradas como unidas (elementos do tipo *contact*). Os modelos foram definidos fixando as

superfícies externas dos segmentos de resina acrílica em todas as direções (figura 8).

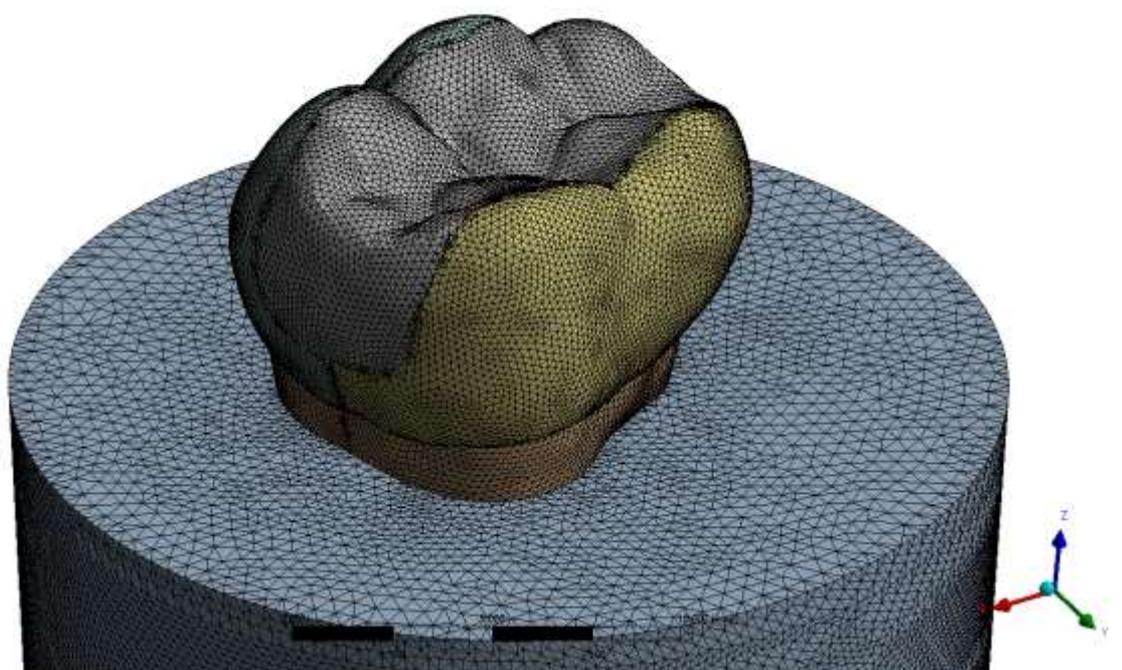


Figura 7: Malhamento do modelo, com elementos de 0,3mm.

Fonte: Próprio autor

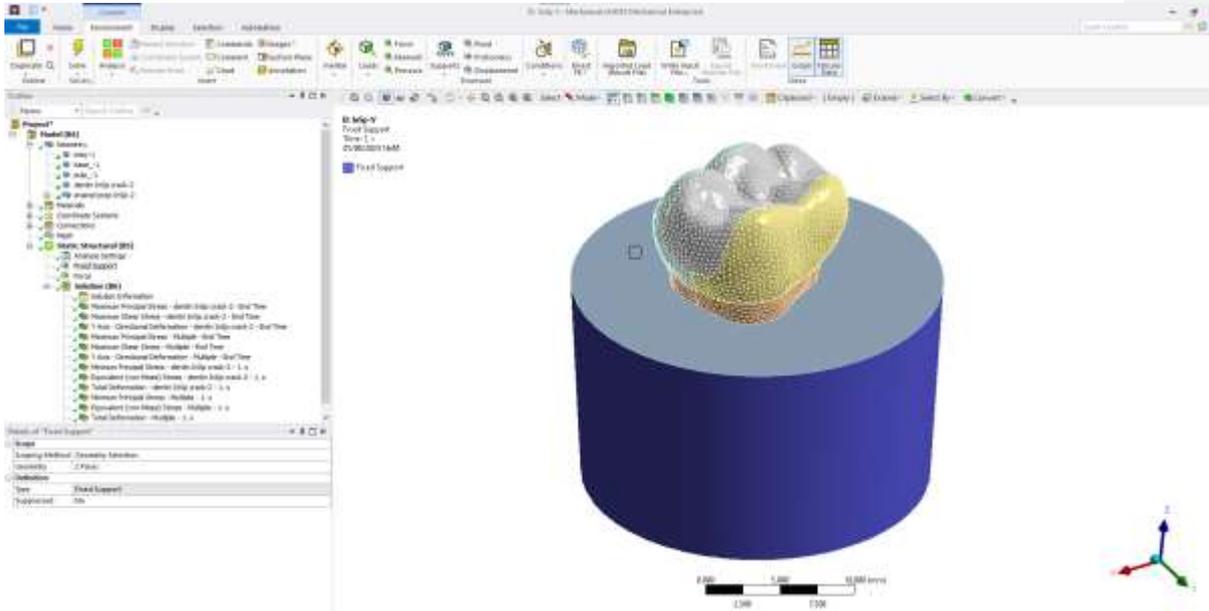


Figura 8: Fixação do modelo observada na área azul na base.

Fonte: Próprio autor

6.4.1.4. Condições de contorno e carregamento

Para definir as condições de contorno e carregamento considerou-se uma simulação de situação clínica. As interações entre as estruturas deste estudo foram atribuídas como contatos colados ou justapostos, por impedir a penetração, deslizamento ou afastamento entre as superfícies.

Frente às condições de carregamento, foi aplicada carga oclusal oblíqua (30°) estática e constante de 131,9 N (29), nas vertentes triturantes do dente simulando o deslocamento para exercer a função de mastigação. A carga a aplicada simulou o paciente com os dentes em máxima intercuspidação habitual com deslizamento para o lado de trabalho.

Bi-Mg-V
Tarefa
Tempo: 5,2
21/04/2024 16:41
Faca: 131,89N
Componente: E: 65,94; 114,22N

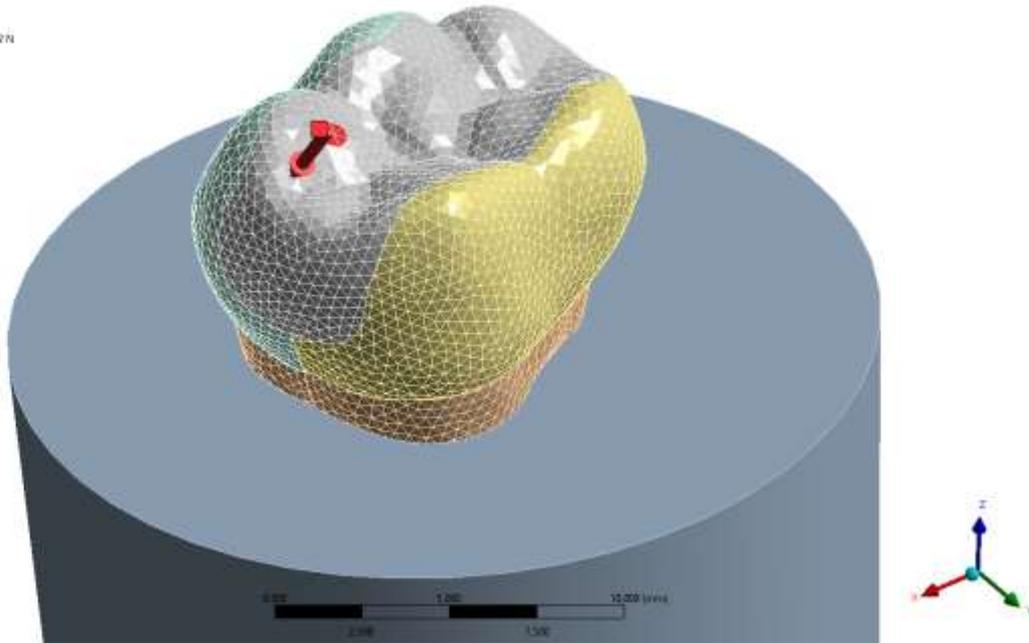


Figura 9: Carregamento oclusal de 131,9N na vertente triturante da cúspide de contenção cêntrica.

Fonte: Próprio autor

6.4.1. Processamento

Os modelos foram submetidos ao processamento das equações numéricas do programa ANSYS Workbench 14 (Ansys Inc., Canonsburg, Pennsylvania, EUA), a análise propriamente dita. Os resultados das 4 condições experimentais propostas do campo de tensões foram obtidos e então avaliados os seguintes critérios: Tensão de Cisalhamento Máximo, Tensão de Tração Máxima e o Deslocamento Máximo no dente.

6.4.2. Pós-Processamento

O resultado do processamento foi avaliado de duas maneiras: análise qualitativa, obtida pela comparação visual das imagens e seus gradientes de cores geradas pelo software de simulação e análise quantitativa

ou numérica, onde foi avaliada a distribuição e valor das tensões máximas geradas como resposta biomecânica do sistema.

6.5. Análise dos resultados

Os dados obtidos neste estudo foram tabulados em planilhas utilizando o programa Microsoft Office Excel para Windows (Microsoft Corporation, Washington, EUA). A comparação entre resultados de tensão e deslocamento nos componentes para análise numérica por elementos finitos não necessitou de tratamento estatístico, visto que não houve média e desvio padrão, nem grupos, mas sim um único modelo para cada situação simulada. Por ser uma análise numérica, o mesmo resultado pôde ser obtido em casos de repetição e por esse motivo não foi necessário o tratamento estatístico.

7. RESULTADOS

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 de tração e cisalhamento aconteceram nos modelos com trinca não preparada, tanto para inlays quanto para overlays. Ao se preparar a trinca, diminuiu-se a tração em 65%, e o cisalhamento em 35% para a condição de inlay (InSp para InCp). Já para a condição de overlay (OvSp para OvCp), o preparo da trinca diminuiu a tensão de tração em 58% e cisalhamento em 37%. Ao se recobrir as cúspides, diminuiu-se a tração em 13%, sem alteração significativa para o cisalhamento (2%) entre modelos sem preparo de trinca (InSp para OvSp). Já para os modelos com preparo de trinca (InCp para OvCp), a cobertura de cúspides não gerou grandes alterações, com aumento de 5% na tração e diminuição de 2% no cisalhamento.

Quanto à deformação máxima no dente, não houveram grandes diferenças entre os modelos com e sem preparo da trinca, sendo essas diferenças variando de -2% à 1%.

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	40	315	14,14
InCp	14	206	14,24
OvSp	35	321	14,29
OvCp	14	201	14,03

MPa: megapascal; µm: micrômetro;

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	-65%	-35%	1%
InSp -> OvSp	-13%	2%	1%
OvSp -> OvCp	-58%	-37%	-2%
InCp -> OvCp	4%	-2%	-1%

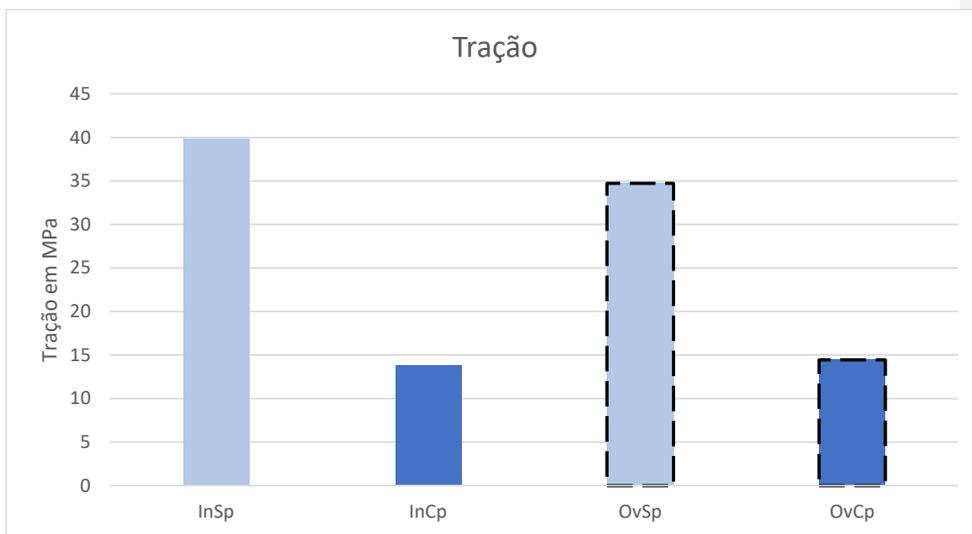


Figura 2: Tensão máxima de tração encontrada nos modelos com inlay (In barras claras) ou overlay (Ov, barras escuras), sem preparo (Sp, barras sem borda) ou com preparo da trinca (Cp, barras com borda).

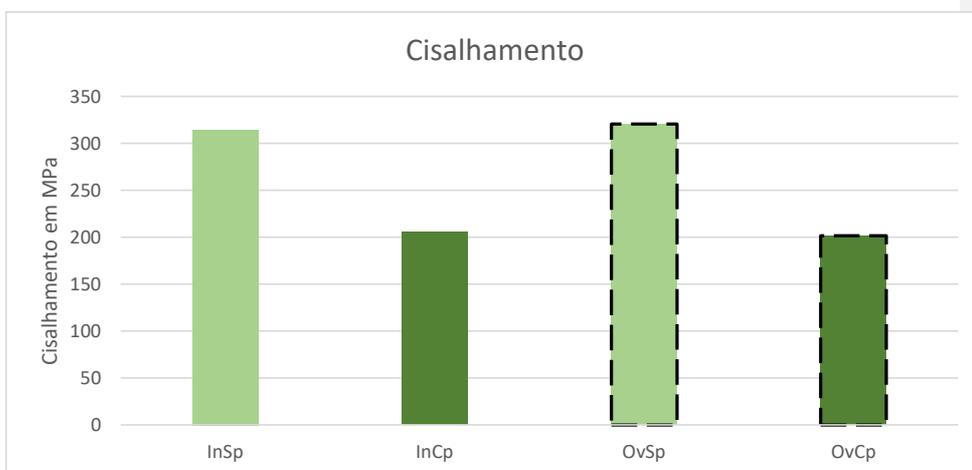


Figura 3: Tensão máxima de cisalhamento encontrada nos modelos com inlay (In, barras claras) ou overlay (Ov, barras escuras), sem preparo (Sp, barras sem borda) ou com preparo da trinca (Cp, barras com borda).

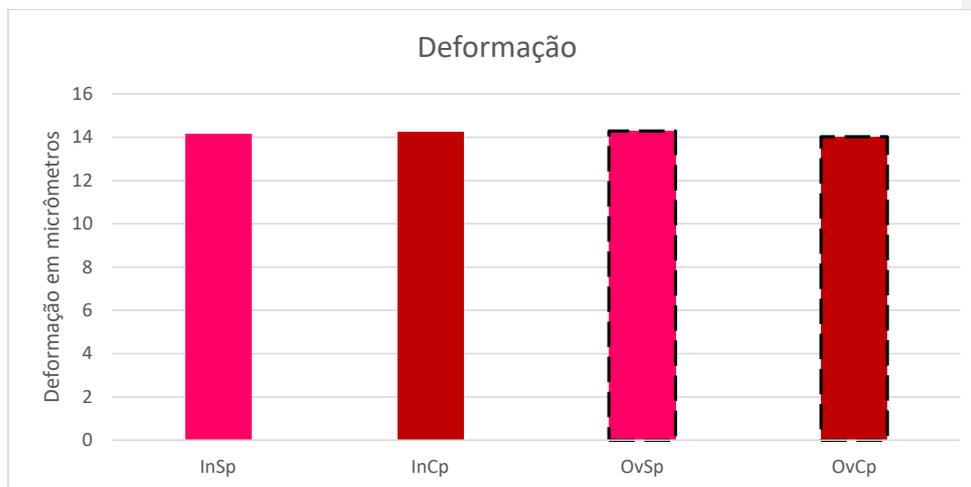


Figura 4: Deformação encontrada nos modelos com inlay (In, barras claras) ou overlay (Ov, barras escuras), sem preparo (Sp, barras sem borda) ou com preparo da trinca (Cp, barras com borda).

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 no fim da trinca vertical na cervical do dente, na mesial do dente. As maiores deformações aconteceram na parte mais oclusal da cúspide onde a carga foi aplicada, ou seja, na cúspide vestibulomesial.

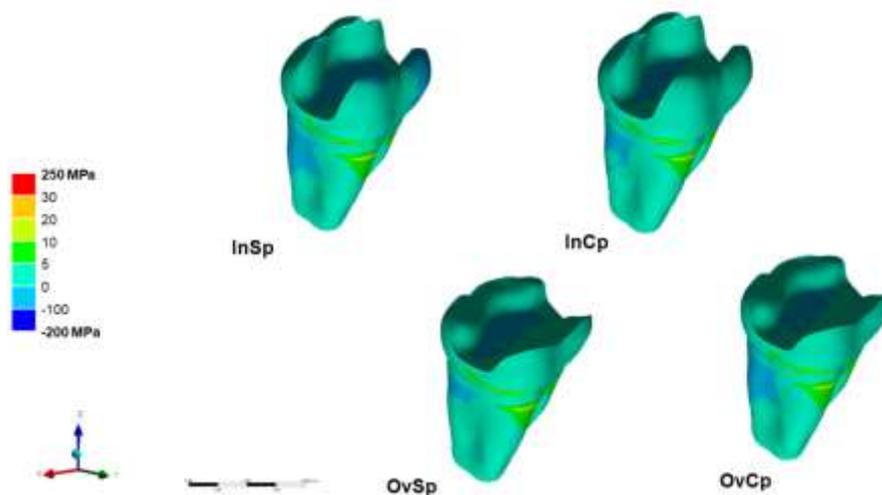


Figura 5: Distribuição das tensões de tração nos quatro modelos analisados. In (inlay), Sp (sem preparo de trinca), Ov (overlay), Cp (com preparo de trinca)

Fonte: Próprio autor

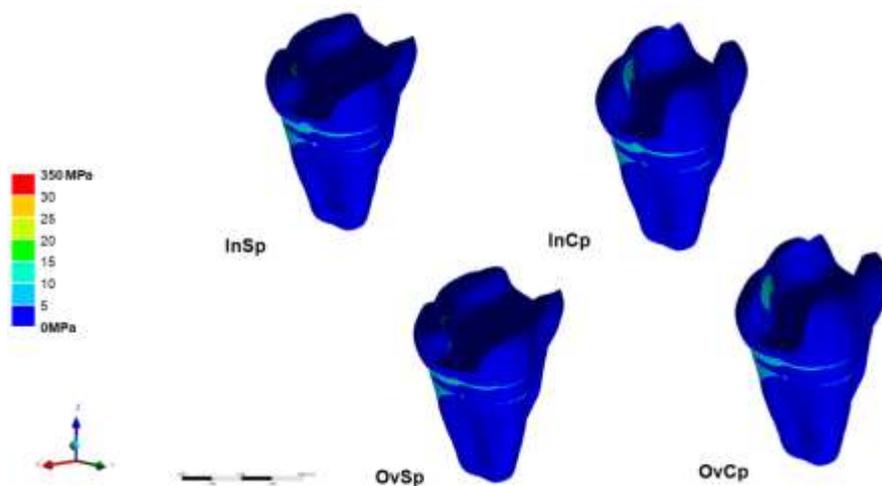


Figura 6: Distribuição das tensões de cisalhamento nos quatro modelos analisados. In (inlay), Sp (sem preparo de trinca), Ov (overlay), Cp (com preparo de trinca)

Fonte: Próprio autor

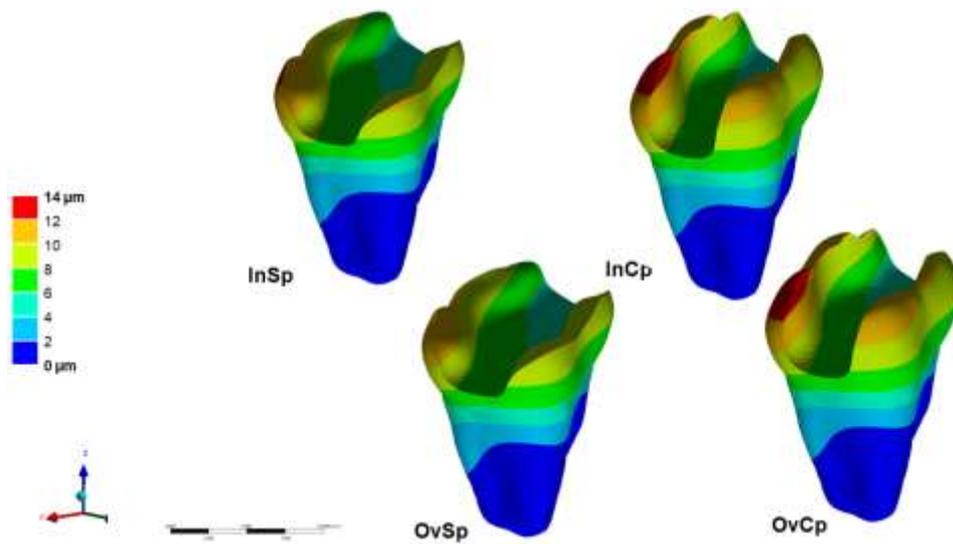


Figura 7: Deformação nos quatro modelos analisados. In (inlay), Sp (sem preparo de trinca), Ov (overlay), Cp (com preparo de trinca).

Fonte: Próprio autor

8. DISCUSSÃO

O presente estudo avaliou o efeito do preparo da trinca e do recobrimento da cúspide no comportamento biomecânico de molares com trinca vertical através do Método por Elementos Finitos (MEF).

Quando há trincas dentárias, comumente são indicados os tratamentos convencionais de recobrimento de cúspide. Desde a década de 50(1), entende-se que a utilização de onlay e overlays têm a finalidade de proteger cúspides de contenção cêntrica com a finalidade desse evitar a maior propagação da trinca e a possível perda do elemento dentário. Uma das técnicas que têm 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 uma eventual fratura do dente ou, em alguns casos mais severos, a perda do elemento dentário. Os resultados do presente estudo mostraram que a utilização desse tipo de técnica representaria um benefício do ponto de vista biomecânico, já que o dente estaria menos sujeito a tensões de tração e cisalhamento. Sob esse aspecto, considerando as hipóteses nulas apresentadas, a primeira hipótese é rejeitada, já que a preparação das trincas verticais e a sua restauração afetam significativamente o comportamento biomecânico do dente.

Do ponto de vista do estudo em questão, há uma diferença notável no modo como o elemento dentário se comporta biomecanicamente frente ao preparo ou não da trinca vertical, independentemente do tipo de restauração realizada (overlay ou inlay). Essa informação, ainda que em um projeto *in silico* é relevante, já que até o presente momento, não há estudos científicos que avaliem a preparação de trincas em dentes. É sabido que ao eliminar o tecido dentário o comportamento biomecânico de dente vai mudando, pois este se torna mais propenso à fratura (30). Entretanto, o resultado deste estudo vai contra, já que a técnica de preparo de trinca implica inevitavelmente na eliminação de tecido saudável. Como foi possível observar nos resultados, a preparo da trinca em um dente com restauração inlay e overlay teve redução da tensão de tração em 65% e 68% respectivamente; e a tensão de cisalhamento, uma redução de 35% e 37% respectivamente.

Quanto à deformação máxima, não houve grandes diferenças 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.

Opdam e Roeters (2003) investigaram a eficácia clínica das restaurações diretas de resina composta, com ou sem cobertura de cúspide, para o tratamento de dentes rachados. De acordo com as avaliações, não houve diferença estatisticamente significativa entre os dentes tratados com ou sem proteção de cúspides. Isso valida a segunda hipótese nula, já que os resultados do presente estudo indicaram que o recobrimento de cúspides não afetou significativamente no comportamento biomecânico do dente, mas, ao contrário, em dentes com preparo, inlay para overlay houve um discreto aumento de 4%. O recobrimento de cúspides é uma técnica amplamente utilizada para restaurar dentes com trincas, uma vez que se busca a verticalização das forças permitindo que o dente, durante a função mastigatória, não receba forças de deflexão, mas forças que se propagam em direção ao centro do dente. Ao mesmo tempo, esse estudo contrasta com o de SUN et al., 2023, que comparou, utilizando MEF, cinco materiais restauradores e três parâmetros de restauração em dentes com trincas em diferentes profundidades. Cada vez que a trinca se tornava mais profunda, maior foi o dano. No entanto, com o recobrimento das cúspides, o dano diminuiu significativamente a depender do tipo de material e a espessura utilizada para recobrimento. Do ponto de vista clínico, o revestimento de cúspides geralmente é realizado em pacientes com sintomas dolorosos à mastigação. Esses tratamentos variam desde apenas o revestimento, como um overlay, até coroas de cobertura total.

Convém ressaltar ainda que este trabalho, por se tratar de um experimento *in silico*, ainda que simule o mais próximo possível de uma realidade clínica, possui limitações. Ni et al., 2023 em um estudo sobre os efeitos dos diferentes tipos de cobertura e materiais de propagação de trincas foi categórico em afirmar a necessidade de se refinar a compreensão das propriedades mecânicas da dentina, já que é tratada como um material linearmente elástico e isotrópico, e não há como capturar seu comportamento biomecânico anisotrópico e viscoelástico. Outro fator ainda é que o nosso modelo de pesquisa envolve a dificuldade de se compreender as trincas, sua localização e orientação, a fim de se obter um melhor prognóstico pós-tratamento, seja ele por meio do preparo da trinca, cobertura das cúspides ou a associação de ambos.

9. CONCLUSÃO

Considerando os resultados do presente estudo, pode-se concluir que:

1. O preparo de trinca diminuiu as tensões de tração e cisalhamento na região da trinca, sem influência significativa na deformação do dente;
2. O recobrimento de cúspide não influenciou positivamente no comportamento biomecânico de molares com cavidades MOD e trinca vertical;
3. ~~O preparo de trinca diminuiu as tensões de tração e cisalhamento na região da trinca, sem influência significativa na deformação do dente;~~
4. O recobrimento de cúspide e preparo de trinca não influenciaram significativamente a deformação do dente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAMERON CE. CRACKED-TOOTH SYNDROME. *J Am Dent Assoc.* março de 1964;68:405–11.
2. 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.
3. Zuckerman GR. The cracked tooth. *N Y State Dent J.* 1998;64(6):30–5.
4. Geurtsen W, Schwarze T, Günay H. Diagnosis, therapy, and prevention of the cracked tooth syndrome. *Quintessence Int.* junho de 2003;34(6):409–17.
5. Rivera E, Walton R. Cracking the Cracked Tooth Code: Detection and Treatment of Various Longitudinal Tooth Fractures [Internet]. 2008 [citado 28 de agosto de 2023]. Disponível em: www.aae.org/dentalpro/clinicaltopics
6. Friedman S, Azarpazhooh A, Bruder III G, Krell K, Mello I, Nixdorf D, et al. Guidelines for the Methodology of Cracked Tooth Studies [Internet]. 2016. Disponível em: www.aae.org
7. Braly B V, Maxwell EH. Potential for tooth fracture in restorative dentistry. *J Prosthet Dent.* abril de 1981;45(4):411–4.
8. Guo J, Wu Y, Chen L, Long S, Chen D, Ouyang H, et al. A perspective on the diagnosis of cracked tooth: imaging modalities evolve to AI-based analysis. *Biomed Eng Online.* 15 de junho de 2022;21(1):36.
9. Kakka A, Gavriil D, Whitworth J. Treatment of cracked teeth: A comprehensive narrative review. *Clin Exp Dent Res.* outubro de 2022;8(5):1218–48.
10. Browet S. Therapeutic strategy for cracked teeth [Internet]. Article in *The International Journal of Esthetic Dentistry.* 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/363230826>
11. Yap EXY, Chan PY, Yu VSH, Lui JN. Management of cracked teeth: Perspectives of general dental practitioners and specialists. *J Dent.* outubro de 2021;113:103770.
12. Wang M, Hong Y, Hou X, Pu Y. Management and prognosis of a vital cracked tooth by occlusal veneer for 14 months: A case report. *Clin Case Rep [Internet].* 8 de agosto de 2023;11(8). Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ccr3.7714>
13. Carvalho MA de, Lazari PC, Gresnigt M, Del Bel Cury AA, Magne P. Current options concerning the endodontically-treated teeth restoration with the adhesive approach. *Braz Oral Res.* 18 de outubro de 2018;32(suppl 1):e74.
14. 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.
15. Trivedi S. Finite element analysis: A boon to dentistry. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2014;4(3):200–3.
16. 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. *Dent Mater.* abril de 2021;37(4):731–40.

17. MONTEIRO JUNIOR S, ANDRADE APSC de, SCHRICKTE N, ARCARI GM. Síndrome do Dente Rachado. *Jornal Brasileiro de Dentística e Estética*. agosto de 2002;1(3):185–92.
18. Lynch CD, McConnell RJ. The cracked tooth syndrome. *J Can Dent Assoc*. setembro de 2002;68(8):470–5.
19. Bhanderi S. Facts About Cracks in Teeth. *Prim Dent J*. 1º de março de 2021;10(1):20–7.
20. Mamoun JS, Napoletano D. Cracked tooth diagnosis and treatment: An alternative paradigm. *Eur J Dent*. 4 de abril de 2015;09(02):293–303.
21. Knop L, Gandini Jr. LG, Shintcovsk RL, Gandini MREAS. Scientific use of the finite element method in Orthodontics. *Dental Press J Orthod*. abril de 2015;20(2):119–25.
22. 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*. setembro de 2014;40(9):1489–93.
23. Lotti RS, Machado AW, Mazzeiro ÊT, Landre Júnior J. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*. abril de 2006;11(2):35–43.
24. 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.
25. 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.
26. Park JH, Choi NS. Equivalent Young's modulus of composite resin for simulation of stress during dental restoration. *Dental Materials*. fevereiro de 2017;33(2):e79–85.
27. 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*. 3 de outubro de 2018;27(8):741–7.
28. Shivakumar S, Kudagi VS, Talwade P. Applications of finite element analysis in dentistry: A review. Vol. 13, *Journal of International Oral Health*. Wolters Kluwer Medknow Publications; 2021. p. 415–22.
29. 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. *Journal of Applied Oral Science*. 2020;28.
30. 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.
31. 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*. setembro de 2023;145:106045.

32. Ni J, Xu L, Lin Y, Lai D, Huang X. Effects on different full-coverage designs and materials of crack propagation in first mandibular molar: an extended finite element method study. *Front Bioeng Biotechnol.* 15 de agosto de 2023;11.