



Determinação da tensão de compressão por métodos computacionais para a seleção de materiais restauradores aplicados na odontologia

Eber Alves de Carvalho¹, Maria Helena Teles Lopes², Adalto Soares da Fonseca Júnior³, Antônio Wilson Vieira⁴, Maurílio José Inácio⁵, Álvaro Barbosa de Carvalho Júnior⁶, Paulo Santos da Mata⁷

ARTIGO ORIGINAL

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi utilizar métodos computacionais para a determinação das tensões de compressão desenvolvidas em dentes molares tratados endodonticamente. Para isso, foram utilizados arquivos digitais de dentes molares obtidos no formato modelo STL, os quais foram gerados por meio de escaneamento 3D para posterior análise da malha triangular com a integral de superfície. Como resultado, constatou-se a importância da reintegração precisa da forma estética e funcional dos dentes, tendo vista que a formação de áreas planas pode comprometer os valores de tensão de ruptura dos materiais restauradores. A análise realizada por métodos computacionais também verificou que, em alguns casos, poderia haver distinção do material restaurador aplicado para homens e mulheres. Logo, os resultados encontrados neste estudo com a integral de área podem contribuir com informações importantes que auxiliem na escolha adequada dos materiais restauradores.

Palavras-chave: Método computacional, Material restaurador, Tensão de compressão, Endodontia.

Determination of compressive stress by computational methods for the selection of restorative materials applied in dentistry

ABSTRACT

The aim of this study was to use computational methods to determination of the compressive stresses developed in endodontically treated molar teeth. For this purpose, digital files of molar teeth obtained in STL model format were used, which were generated by 3D scanning for subsequent analysis of the triangular mesh with the surface integral. The results showed the importance of accurately reintegrating the aesthetic and functional shape of teeth, since the formation of flat areas can compromise the tensile strength values of restorative materials. The analysis carried out using computational methods also found that in some cases there could be a distinction between the restorative material applied to men and women. Therefore, the results found in this study using the area integral can provide important information to help make the best choice of restorative materials.

Keywords: Computational method, Restorative material, Compression stress, Endodontics.

Instituição afiliada – ¹Universidade Estadual de Montes Claros. ²Universidade Federal de Minas Gerais. ³Universidade Estadual de Montes Claros. ⁴Universidade Estadual de Montes Claros. ⁵Universidade Estadual de Montes Claros. ⁶Universidade Estadual de Montes Claros. ⁷Faculdade de Ciências Odontológicas

Dados da publicação: Artigo recebido em 11 de Abril e publicado em 31 de Maio de 2024.

DOI: <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2024v6n5p2496-2506>

Autor correspondente: *Maria Helena Teles Lopes* - mariahelenat123@gmail.com

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



INTRODUÇÃO

Atualmente, percebe-se um número crescente de pessoas que procuram os consultórios odontológicos para procedimentos estéticos, dentre os quais se destacam; implantes dentários, aplicação de facetas ou lentes de contato, encurtamento ou alongamento da gengiva e clareamento dental. Nesse sentido, a preocupação estética dos pacientes em relação à aparência dos seus dentes tem sido, nos últimos anos, tema de várias pesquisas, principalmente no que se refere ao desenvolvimento de novos materiais restauradores (EBERLE *et al.*, 2016; AMORIM *et al.*, 2019; GARCIA *et al.*, 2022; LIMA *et al.*, 2023; SOARES; BORGES, 2023).

Entre os materiais restauradores, as resinas fotopolimerizáveis destacam-se como um dos materiais mais utilizados para restaurações estéticas diretas, tendo em vista sua translucidez e acabamento final, que são características muito desejáveis pelos pacientes. Contudo, algumas de suas propriedades mecânicas tais como; resistência à fratura, resistências à flexão e compressão, são inferiores quando comparadas com as das cerâmicas odontológicas ou com outros materiais utilizados em endodontia (GOMES; ASSUNÇÃO; SANTOS, 2008; SOUZA *et al.*, 2015).

Sabe-se que não é comum um dente natural sofrer fraturas decorrentes da ação de cargas oclusais funcionais. Este fato deve-se à configuração otimizada do dente para a distribuição das cargas mastigatórias e à resistência mecânica proveniente de suas propriedades estruturais. Entretanto, em muitos casos onde estão associadas a extensão e a geometria do preparo cavitário, a remoção estrutural do dente restaurado pode alterar a distribuição das tensões mastigatórias, aumentando consideravelmente a incidência de fraturas.

Métodos computacionais que permitem análises de modelos tridimensionais podem ser utilizados para o estudo de tensões e deformações dos dentes (BRITO *et al.*, 2017; SPEZZIA, 2023). Entre esses métodos, os que são baseados em malhas de elementos finitos apresentam-se como uma ferramenta eficaz para o cálculo mais preciso das áreas de restauro, diferentemente das suposições usuais realizadas por muitos profissionais de que as áreas restauradas são planas e ortogonais à força de oclusão aplicada. Além disso, os métodos computacionais também permitem analisar as tensões desenvolvidas em um modelo dental completo ou em partes da estrutura que

o compõe, sendo essas análises feitas isoladamente e em diversas posições de rotação e translação. Neste sentido, o cálculo das regiões restauradas sobre os dentes tem fundamental importância para o desempenho funcional dos elementos dentários ou dos segmentos dos arcos dentários que, em decorrência de cáries ou traumas, perderam a sua morfologia (KANO, 2015).

Sabendo que os dentes apresentam diferentes funções e valores de cargas resistentes para suportar o processo de mastigação, torna-se de fundamental importância que profissional de odontologia possua um conhecimento prévio da escultura dental para reintegrar precisamente à forma estética e funcional dos dentes. Quando isso não ocorre, aumentam as chances de danos aos restauros devido ao aumento das tensões, principalmente nos casos onde o material restaurador utilizado possui uma baixa resistência mecânica.

Recentemente, um grupo de pesquisa formado por profissionais de odontologia e engenharia de materiais, ligados ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional da Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), investigaram a possibilidade de analisar, por meios computacionais, as tensões desenvolvidas nos dentes, como parâmetro de seleção dos materiais restauradores. Os resultados preliminares mostraram que, considerando a carga resistente de cada tipo de dente, haveria distinção entre os materiais restauradores aplicados nos dentes molares e pré-molares. Entretanto, a determinação precisa das regiões de restauro ainda consiste em um desafio. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar as tensões nas regiões restauradas de oclusão de um dente molar, sendo aplicados métodos computacionais para o cálculo da área e conhecimentos da anatomia dental para a escolha mais adequada do material restaurador.

METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foi inicialmente utilizado um modelo de dentes obtido por vazamento em gesso especial na cor amarela. O modelo utilizado consiste na oclusão de uma arcada parcial. Este modelo foi posteriormente escaneado com o auxílio de um *scanner* de bancada da marca Ceramill, modelo Map400. A partir dos dados de escaneamento, foi utilizado o *software* Ceramill Mind para o delineamento da área de

restauo reconstruída em formato digital. O cálculo da área da superfície é simples, quando são consideradas regiões de áreas planas. Entretanto, a morfologia das superfícies dos dentes consideradas neste estudo, além de não serem planas, são completamente irregulares e complexas.

Os arquivos digitais obtidos no formato modelo STL foram utilizados para o cálculo da superfície de restauo. O modelo STL, gerado a partir das leituras por *scanner* 3D, é composto por uma malha triangular que descreve a superfície do dente e, dessa forma, a área da malha triangular consiste em uma aproximação mais precisa da área da região de interesse. O método desenvolvido para computar a área considera uma parametrização da superfície, que pode ser descrita pela Equação 1:

$$\text{Área} = \iint_B \left| \frac{\partial r}{\partial u} \times \frac{\partial r}{\partial v} \right| dudv \quad (1)$$

Em que: $r : B \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$, com $r(u,v) = (x(u,v), y(u,v), z(u,v))$ corresponde a parametrização da superfície no domínio B .

Inicialmente, foi considerado o valor de 1,77 mm² para cada área de contato cêntrico das cúspides, admitindo que o valor médio do diâmetro para cada ponto cêntrico seja de 1,5 mm (KANO, 2015). Essas considerações foram feitas em virtude do aumento do diâmetro do contato oclusal, provocado pelo atrito mastigatório e monitorado com métodos de elementos finitos (SILVA, 2018). Entretanto, levou-se em conta uma área mínima em torno de 2 mm² para o restauo da região de uma cúspide.

Na superfície de restauo foram identificados os pontos de contatos cêntricos formados pelas cúspides de trabalho e balanceio. Portanto, as áreas calculadas correspondem às regiões dos pontos cêntricos das cúspides de trabalho, não sendo consideradas as cúspides de balanceio por receberem pequenas cargas oclusivas.

Para estimar as tensões martigatórias atuantes no segundo molar inferior direito, também chamado de dente 47, foi utilizada como referência uma força vertical máxima de oclusão no ato da mordida de 88 kgf (862,4 N) para homens e de 69 kgf (676,2 N) para mulheres, conforme previamente relatado por outros autores

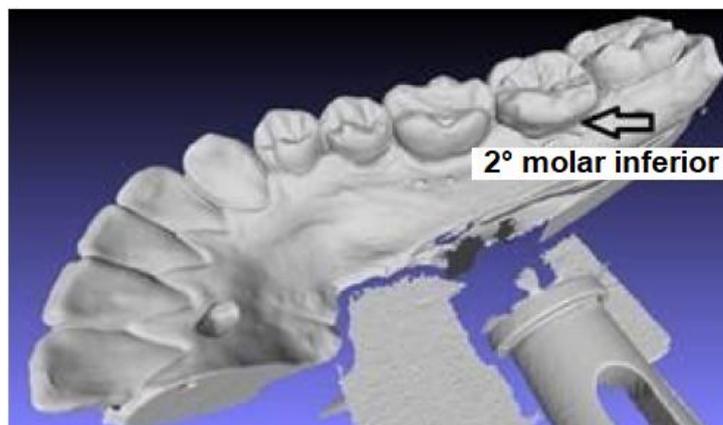
(LIMA *et al.*, 2011). As regiões dos contatos em oclusão cêntrica dos dentes, que representam a posição intercuspal de máximo contato entre as arcadas dentárias, foram identificadas conforme as características e as dimensões padrões da anatomia dental descritas na literatura (RIQUIERI, 2016).

Os valores de resistência à compressão nos dentes molares foram calculados por meio da razão entre a força de oclusão máxima (em Newton) e a área da superfície (em mm^2), calculada com a Equação 1. Estes resultados foram comparados e discutidos em relação aos valores de referência relatados na literatura para às tensões de ruptura em MPa (N/mm^2) dos materiais restauradores tais como; amálgama, dissilicato de lítio e algumas resinas compostas polimerizáveis.

RESULTADOS

Sabe-se que os dentes molares possuem uma morfologia variada e complexa devido à presença de várias formações coronárias. As protuberâncias ou pontas dos dentes molares, também conhecidas como cúspides, são locais com alta concentração de tensões. Logo, as intervenções de restauro, quando não realizadas de forma adequada, pode diminuir a capacidade de resistência às cargas oclusais de mastigação, aumentando a probabilidade de fraturas. Na Figura 1 encontra-se ilustrado o escaneamento 3D da arcada parcial para o delineamento da área de restauro. A região de restauro (hachurada em amarelo) está apresentada na vista superior do 2º molar, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 1 – Escaneamento da arcada parcial com o scanner Ceramill, Map400



Fonte: autores (2024)

Figura 2 – Morfologia do 2º molar apresentando as cúspides de trabalho e balanceio

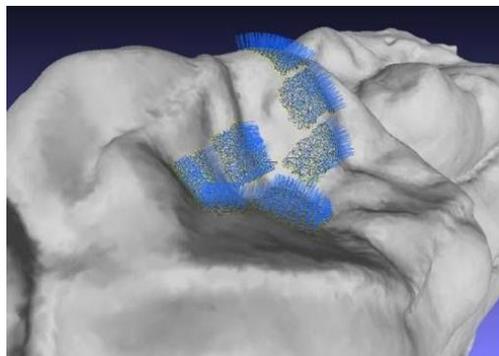


Fonte: autores (2024)

As marcações em azul escuro dentro dos círculos vermelhos representam as regiões das cúspides de trabalho. Estas cúspides estão localizadas na parte vestibular do dente. As cúspides de trabalho fazem o contato cêntrico com a fossa central do molar superior, recebendo assim maior carga. As marcações em azul escuro dentro do círculo azul claro são as regiões das cúspides de balanceio, que estão localizadas na parte lingual e recebem apenas pequenos valores de cargas.

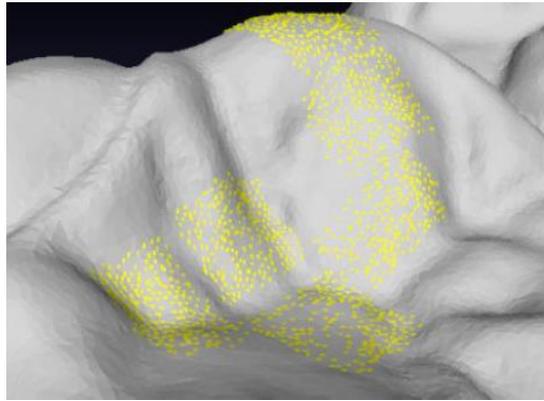
Na Figura 3, estão apresentadas delimitações das regiões que contém as áreas de contato cêntrico, as quais foram obtidas a partir do método computacional usando uma malha triangular. O programa utilizado possibilita o cálculo preciso das áreas e a morfologia complexa da superfície do dente molar não se torna um empecilho. Um detalhe ampliado das áreas calculadas com a equação da integral de superfície encontra-se ilustrado na Figura 4.

Figura 3 – Regiões das áreas de contato cêntrico delimitadas com malha triangular



Fonte: autores (2024)

Figura 4 – Área dos contatos cêntricos calculadas com integral de superfície



Fonte: autores (2024)

O valor total encontrado com o somatório das áreas de superfície de contato foi de 14,15 mm². Admitindo os valores máximos das forças verticais de oclusão para homens e mulheres no ato da mordida e, considerando que a área calculada pela integral de superfície foi restaurada obedecendo a anatomia dental, estima-se que os valores médios de tensão de compressão sejam de aproximadamente 60,95 MPa para homens e 47,77 MPa para mulheres. Portanto, de acordo com os valores de tensão de ruptura descritos na literatura para os materiais restauradores a base de amálgama (490 MPa), dissilicato de lítio (360 MPa) e resinas fotopolimerizáveis (300 MPa), constata-se que não haveria distinção na escolha do material para homens e mulheres, em função das tensões encontradas na região de restauro do dente molar.

Por outro lado, se a reintegração estética e funcional dos dentes não for feita de forma precisa pelo profissional de odontologia, poderá ocorrer danos ao dente, principalmente nos restauros constituídos de muitas áreas planas. Por exemplo, para uma área de oclusão reintegrada de forma circular, plana e constante, estima-se que os valores médios de tensão de compressão obtidos com o método computacional sejam de 431,10 MPa para homens e 338,10 MPa para mulheres. Neste caso, percebe-se que haveria distinção na escolha do material para homens e mulheres, em função das tensões encontradas na região restaurada. Hipoteticamente, no restauro da região das cúspides, o amálgama poderia ser utilizado como material restaurador para homens em mulheres, o dissilicato de lítio apenas para mulheres e as resinas fotopolimerizáveis em nenhum dos dois casos (GOMES; ASSUNÇÃO; SANTOS, 2008; KANO, 2015; SILVA, 2018).

É importante ressaltar que as considerações realizadas nesse trabalho foram



feitas para condições extremas, onde a área mínima de restauro e os valores adotados das forças elevaram ao máximo os valores das tensões no método computacional, que calculou o valor mais aproximado das superfícies de contato.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados preliminares desse trabalho permitiram concluir que as técnicas computacionais se apresentam como excelente ferramenta para a análise das tensões nos dentes, contribuindo com informações que auxiliem na melhor escolha dos materiais restauradores. Além disso, os resultados encontrados das áreas restauradas são mais precisos, demonstrando que o conhecimento morfológico, anatômico e funcional dos dentes é essencial para realização de uma escultura dental correta e precisa. Entretanto, ainda é necessária uma análise mais detalhada dos resultados levando em consideração outros parâmetros, tais como; o sexo do indivíduo, a idade e o tipo do dente investigado.

REFERÊNCIAS

AMORIM, A. V.; COMUNIAN, C. R.; NETO, M. D. F.; CRUZ, É. F. **Implantaodontia: Histórico, Evolução e Atualidades. Revista Multidisciplinar e de Psicologia**, v. 13, n. 45, p. 36-48, 2019.

BRITO, J. V. C.; GARCIA, D. C.; CRISPIM, S. S.; MATOS, J. D. M.; FIGUEIREDO, V. M. G. Aplicação de elementos finitos na odontologia: uma revisão de literatura. **Journal of Dentistry & Public Health (inactive Archive Only)**, v. 8, n. 3, p. 90-93, 2017.

EBERLE, I. L.; VENANCIO, G. N.; AQUINO, E. P.; AUGUSTO, C. R. Reabilitação estética anterior com sistema IPS e.max: relato de caso. **Arch Health Invest**, v. 5, n. 3, p. 22-27, 2016.

GARCIA, I. M.; BATISTA, J. S.; PEREIRA, J. M. S.; MEIRA, G. F.; LIMA, T. M. Clareamento dental: técnica e estética - revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, e463111335928, 2022.

GOMES, E. A.; ASSUNÇÃO, W. G.; SANTOS, P. H. Cerâmicas odontológicas: o estado atual. **Cerâmica**, v. 54, p. 325, 2008.

KANO, P. **Desafiando a Natureza**. 2. ed. São Paulo: Quintessence, 2011, 357 p.

LIMA, D. A.; BORGES, L. A.; LOPES, L. P. B.; LINS, M. C. S.; FONSECA, T. S. Eficácia dos materiais restauradores temporários utilizados no tratamento endodôntico: revisão de literatura. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 6, n. 6, p. 28390-28402, 2023.



LIMA, L. M.; RODRIGUES, C. B. S.; CUNHA, R. A.; CUNHA, D. A.; SILVA, H. J. Verificação da força de mordida e da atividade elétrica dos músculos masseteres durante a mastigação em laringectomizados totais. **Revista Brasileira de Odontologia**, v. 68, n. 2, p. 175, 2011.

RIQUIERI, H. **Anatomia e Escultura Dental**. Editora Napoleão, 2016. 368 p.

SILVA, F. M. **Influência do aumento da área de contato oclusão sobre modelo de elementos finitos de dente natural e osso alveolar**. 2018. 63 f. Dissertação (Mestrado em Odontologia) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

SOARES, I. S.; BORGES, T. S. Técnicas e indicações para a realização das facetas em resina composta direta: uma revisão integrativa da literatura. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 6, e3312641962, 2023.

SOUZA, C. H. C.; GONÇALVES, A. R.; BRANDIM, A. S.; SOUZA, W. C. Propriedades mecânicas de resinas nanoparticuladas e microhíbridas fotoativadas por diferentes fontes de luz. **Revista Odontológica Brasileira Central**, v. 24, n. 71, 2015.

SPEZZIA, S. Finitos em Odontologia: Aplicabilidade e Perspectivas Clínicas. **Revista Ciências e Odontologia**, v. 8, n. 1, 2024.