



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Araçatuba



FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE ARAÇATUBA
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS ODONTOLÓGICOS E PRÓTESE

Anna Clara Mendes Borges

**Distribuição das tensões em *overdentures* mandibulares
em função do número de implantes e tipo de conexão quando
submetidos a carregamento oclusal: análise fotoelástica e
extensométrica**

Araçatuba - 2017



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Araçatuba



FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE ARAÇATUBA
DEPARTAMENTO DE MATERIAIS ODONTOLÓGICOS E PRÓTESE

Anna Clara Mendes Borges

Distribuição das tensões em *overdentures* mandibulares em função do número de implantes e tipo de conexão quando submetidos a carregamento oclusal: análise fotoelástica e extensométrica

Trabalho de Conclusão de Curso como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Odontologia da Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Orientador: Prof. Ass. Dr. Aldiéris Alves Pesqueira

Araçatuba - 2017

Dedicatória

Dedico este trabalho,

Aos meus pais **Neila Maria Mendes Borges** e **Geraldo Rabelo Borges**, que sempre tiveram como prioridade o meu estudo e formação, e por isso, muitas vezes abriram mão de vontades pessoais para realizar as minhas. Sempre com garra, muito esforço e trabalho conseguiram me colocar onde estou hoje. Vocês foram e sempre serão o meu maior incentivo e os responsáveis por eu ter chegado até aqui. Minha gratidão por ter em vocês meu alicerce e por tudo que fizeram e fazem por mim. Se cheguei até aqui, foi porque sempre tive vocês me apoiando, incentivando e torcendo por mim. Essa vitória, assim como todo o meu amor, é para vocês.

À memória da minha avó **Joanídia Borges Rabelo**, minha lembrança diária, que em vida, sonhava em ver os netos crescidos e formados. Espero, do fundo do meu coração que ela esteja vendo tudo isso de alguma forma lá de cima. Todo meu amor e eterna saudade.

Agradecimentos Especiais.

Primeiramente à Deus,

Que sempre esteve e está comigo, que iluminou meu caminho e me guiou para que eu conseguisse chegar até aqui, me deu força e saúde para que eu conseguisse superar os momentos de dificuldade e saudade de casa, que me deu uma família unida e sólida, o que foi essencial para que eu trilhasse meu caminho. Sem Ele nada disso seria possível.

À minha irmã Marianna,

Que é meu maior tesouro, minha grande amiga e a minha maior companheira que me ensinou e me mostrou muitas vezes, mesmo que sem perceber, a ser forte e seguir em frente mesmo com as dificuldades que aparecerem. Eu por você, você por mim, sempre. Te amo.

À minha família como um todo, avós, tias, tios, primas e primos,

Minha base, de onde vem meus princípios e ideais, são o meu maior exemplo de união, amor, companheirismo e parceria e sempre foram o motivo para que eu sentisse tanta falta dos inúmeros aniversários e almoços de domingo em que não pude estar presente durante esses cinco anos. Me orgulho muito do que somos.

À meu companheiro de todas as horas Murilo Oliveira,

Que me ouviu, me aguentou nos momentos de estresse e desespero e mesmo assim sempre esteve ao meu lado, me acalmando e falando tudo o que eu queria ouvir. Minha gratidão por ter você.

À Professor Aldiéris Alves Pesqueira,

Que me acolheu e me abriu portas para que eu conhecesse o mundo da pesquisa e sempre com bom humor, tornava o ambiente do departamento mais leve e descontraído. Assim, a relação Aluno de Iniciação Científica e Professor, sempre foi fácil e se transformou em amizade. Muito obrigada por tudo professor.

Aos "mestres" Sandro, Letícia e Marcio,

Meu muito obrigada, pois sem vocês nada do projeto teria funcionado, esse trabalho é de vocês também. Vocês que me ensinaram do começo ao fim, até mais de uma vez quando foi preciso, repetiram testes, sempre com muita paciência e dedicação, obrigada por tudo que aprendi com vocês. Admiro cada um pela determinação, esforço e competência dedicada à vida acadêmica. Continuem em busca do sonho, desejo a vocês todo o sucesso do mundo.

As irmãs que a faculdade me deu,

Amanda Valente, Danielle Almeida, Jéssica Cordeiro, Juliana Nobre, que vivenciaram comigo momentos de alegria e também me ampararam nos momentos de tristeza, fazem parte da minha vida em Araçatuba, impossível lembrar da faculdade e não lembrar de vocês. Mesmo que distantes fisicamente, estaremos juntas, SEMPRE, no coração.

Em especial à **Dani** por ter sido minha amiga e companheira desde os primeiros dias em Araçatuba, por ter sido colo, abraço e força sempre que precisei, por todos os inúmeros momentos compartilhados. Juntas nós conseguimos chegar até aqui.

As amigas,

Francyenne, Rafaela Laruzo, Larissa Mazzoni, Dálete Samylle pela amizade e pelos inúmeros momentos de alegria compartilhados. Agradeço pelo companheirismo de cada uma, vocês fazem parte disso.

Aos meus amigos e amigas de Catalão,

Que mesmo com a distância nunca perdemos o contato, entenderam a minha ausência e se mantiveram sempre presentes na minha vida, me motivando e incentivando para que eu buscasse o meu sonho e chegasse até aqui. Em especial à **Aléxia Zanella, Aléxia Maia, Larissa Borges, Amanda Estrela, Estela Ribeiro, Mayara Galdino e Paola Melo** que a cada reencontro me mostram o valor de uma amizade verdadeira.

À memória da nossa amiga e irmãzinha do coração **Márcia Martins** que participou comigo da alegria da minha aprovação no vestibular e agora participa no meu pensamento e coração da alegria de concluir o curso.

A Maria Olívia, Hugo Rabelo, Amanda e Huguinho,

Que foram minha segunda família em Araçatuba, me acolheram e me fizeram sentir em casa muitas vezes em que precisei de colo. Sou extremamente grata por absolutamente tudo o que fizeram por mim, desde que encontrei vocês a vida longe da minha família passou a ser mais fácil, pois sabia que tinha vocês para me amparar. Vocês fizeram parte da minha graduação e agora sem dúvida nenhuma fazem parte da minha vida. Muito obrigada.

A 59ª Turma da Faculdade de Odontologia de Araçatuba,

Que fez parte do meu dia a dia nesses últimos 5 anos e com isso tornaram uma família, obrigada pelos inúmeros bons momentos de convivência, lembrarei sempre que fiz parte da Turma 59 da FOA UNESP.

A Banca Examinadora,

Agradeço a vocês por se disporem a estar presente neste dia que conclui uma grande jornada. A vocês meu muito obrigada pelas dicas, correções, indicações e considerações que guiaram a confecção final deste trabalho. Foi uma honra e um prazer imenso dividir essa caminhada com vocês.

Aos colegas do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese,

Em especial ao **Arthur Lacerda** e **Danielle Almeida** que estavam comigo na confecção e execução deste trabalho e não mediram esforços para que tudo desse certo.

A Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho",

Na pessoa do diretor da Faculdade de Odontologia de Araçatuba Prof. Wilson Roberto Poi e do vice-diretor Prof. João Eduardo Gomes Filho.

A Pró-Reitoria de Pesquisa PROPe - Unesp,

Pela concessão da bolsa de Iniciação Científica e pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

De uma forma geral, agradeço a todos que passaram pelo meu caminho durante esses 5 anos e que de uma forma ou de outra contribuíram para que eu chegasse até o fim dessa etapa tão importante na minha vida.

“Se vi mais longe foi por estar de pé sobre ombros de gigantes”.

Isaac Newton

BORGES,ACM. **Distribuição das tensões em overdentures mandibulares em função do número de implantes e tipo de conexão quando submetidos a carregamento oclusal: análise fotoelástica e extensométrica.** 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado) - Faculdade de Odontologia de Araçatuba da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araçatuba, 2017.

RESUMO

A literatura recomenda o uso de ao menos dois implantes para suportar uma *overdenture* mandibular em pacientes completamente edêntulos. No entanto, para reduzir o custo e tempo de tratamento, o conceito de *overdenture* sob um único implante surge como uma ótima opção. No entanto, ainda há divergências de opiniões quanto à quantidade ideal de implantes necessários para reter uma *overdenture* mandibular. O objetivo deste estudo foi avaliar por meio de análise fotoelástica (AF) e extensométrica (AE), o comportamento biomecânico de *overdentures* retidas por 01 ou 02 implantes com diferentes tipos de conexões, submetidas à compressão. A partir de um modelo de uma mandíbula edêntula, os espécimes foram divididos em 04 grupos de 01 espécime cada para AF e 04 grupos de 05 espécimes cada para AE, divididos pelo tipo de conexão (*cone morse* e hexágono externo) e número de implantes (01 ou 02). Para AF, o conjunto modelo fotoelástico/implante/prótese foi posicionado em um polariscópio circular associado a uma máquina de ensaio universal (EMIC), sendo aplicada força de compressão de 100N. As tensões geradas foram registradas fotograficamente e analisadas qualitativamente. Para AE, 2 extensômetros foram posicionados (mesial e distal de cada implante) e os sinais elétricos captados por um aparelho de aquisição de dados (ASD2001). Os dados foram submetidos a ANOVA e ao teste Bonferroni ($P<0.0001$). Pela AF, as *overdentures* retidas por 02 implantes apresentaram maior número de franjas de tensão em comparação com as retidas por 01 implante, em ambas conexões. Pela AE, houve diferença estatística entre as conexões nos grupos com 01 implante ($P<0.0001$), sendo o *cone morse* com menores valores de *microstrain*. As *overdentures* com 01 implante apresentaram menores valores de tensão do que as com 02 implantes, em ambas as conexões ($P<0.0001$). Conclui-se que o número de implantes influenciou diretamente na distribuição da tensão em ambas as formas de análises, sendo maior para as suportadas por 02 implantes.

Palavras-chave: Implante dentário. Biomecânica. Prótese dentária fixada por implante

BORGES, ACM. **Stress distribution in mandibular overdentures according to the number of implants and connection systems submitted to an occlusal loading: photoelastic and strain gauge analysis.** 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado) - Faculdade de Odontologia de Araçatuba da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araçatuba, 2017.

ABSTRACT

The consensus statement recommends at least two implants to support a mandibular overdenture for edentulous patients. However, to reduce cost and time of treatment, the concept of single implant-retained overdentures provides another option. Nonetheless, the optimal number of implants required to retain a mandibular overdenture is still under evaluation. The objective of this study was to evaluate the biomechanical behavior of overdentures supported by 1 or 2 implants with different types of connections and submitted to compression, by photoelastic analysis (PA) and strain gauge analysis (SGA). Based on a cast of an edentulous mandible, the specimens were divided in 4 groups of 1 specimen each for the PA and 4 groups of 5 specimens each for the SGA, divided by the type of connection (Morse taper and external hexagon) and the number of implants (1 or 2). For PA, the photoelastic implant/prosthesis cast assembly was positioned in a circular polariscope associated with a universal testing machine (EMIC) and applying compression. The tension generated was photographed and analyzed qualitatively. For SGA, 2 strain gauges were positioned on the mesial and distal of each implant and the electrical signals were captured by a data acquisition device (ASD2001). The data were submitted to ANOVA and the Bonferroni test ($P < 0.0001$). Through PA, the greatest number of tension fringes in both connection types was presented by the two-implant supported overdentures when compared with the single-implant supported overdentures. Through SGA, a statistical difference was verified between the connections in groups with 1 implant ($P < 0.0001$), with the Morse taper having the lowest microstrain values. The lowest tension values in both types of connections were presented by the overdentures with 1 implant ($P < 0.0001$). It was concluded that the number of implants directly influenced the distribution of tension in both forms of analysis, being greater for the overdentures supported by 2 implants.

Key words: Dental implant. Biomechanics. Implant-fixed dental prosthesis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Modelo experimental de uma mandíbula edêntula.....	16
Figura 2	Moldagem com silicone fluído do modelo de gesso com os transferentes posicionados.....	16
Figura 3	Resina fotoelástica PL 2 (a), manipulação e vazamento da resina fotoelástica (b) e resina sob pressão de 40 lbf/pol ² (c).....	17
Figura 4	Modelos fotoelásticos finalizados.....	17
Figura 5	Esquema mostrando os extensômetros localizados na crista marginal mesial e distal do modelo de poliuretano.....	19
Figura 6	Distribuição das tensões no grupo CM - S (carga aplicada no A - 1º molar direito, B -entre os incisivos centrais e C - 1º molar esquerdo).....	20
Figura 7	Distribuição das tensões no grupo CM - T (carga aplicada no A - 1º molar direito, B -entre os incisivos centrais e C - 1º molar esquerdo).....	20
Figura 8	Distribuição das tensões no grupo HE - S (carga aplicada no A - 1º molar direito, B -entre os incisivos centrais e C - 1º molar esquerdo).....	20
Figura 9	Distribuição das tensões no grupo HE - T (carga aplicada no A - 1º molar direito, B -entre os incisivos centrais e C - 1º molar esquerdo).....	20
Figura 10	Valores médios (desvio padrão) de tensão (<i>microstrains</i>) entre os sistemas de conexão, número de implantes e local de aplicação de cargas em <i>overdentures</i> implantorretidas.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Divisão dos grupos testados.....	15
Tabela 2	Quantidade de franjas de alta tensão (transição entre o verde-rosa) e moderada (verde/vermelho), de acordo com número de implantes e sistemas de conexão.....	17
Tabela 3	Análise de Variância (ANOVA) com comparação entre o tipo de conexão, número de implantes e local de aplicação da força de compressão em overdentures mandibulares.....	19

SUMÁRIO

1	Introdução	13
2	Objetivo	14
3	Material e Método	14
4	Resultados	19
5	Discussão	22
6	Conclusão	25
7	Referências	25

INTRODUÇÃO

A retenção e a estabilidade das próteses totais são fatores importantes para o sucesso na reabilitação de pacientes desdentados, pois facilitam a restauração das funções orais, como a mastigação e fala, promovem aumento do conforto e da autoconfiança do paciente^{1,2,3}. Nos últimos anos, o tratamento para pacientes desdentados mandibular por meio de *overdenture* tem se destacado, apresentando altas taxas de sucesso, reestabelecendo função, fonética e satisfação do paciente. A retenção pelos implantes e o suporte mucoso confere estabilidade para a prótese. Sabe-se que os pacientes preferem o tratamento com *overdenture* à prótese total convencional¹⁻⁸.

No planejamento das reabilitações orais com *overdenture*, o número de implantes a ser instalado é o principal fator a ser resolvido, visto que a quantidade de implantes está diretamente relacionada com o sucesso do tratamento. Apesar deste tema ser amplamente estudado^{1,2,5,6,7,9,10}, não se encontra na literatura um protocolo ideal de número de implantes para *overdentures* mandibulares. Diversos estudos^{1,3,5,8,9} sugerem que a *overdenture* retida por dois implantes deve ser a primeira escolha de tratamento para pacientes com mandíbula edêntula. No entanto, um importante fator limitante para a ampla aceitação de próteses implantossuportadas continua sendo o alto custo e a natureza invasiva das cirurgias para instalação dos implantes.

Estudos recentes^{1,2,3,5,7,8,11-15}, indicam a confecção de *overdentures* sobre um único implante posicionado na região da linha média mandibular, principalmente, em casos com acentuada reabsorção óssea, situação que impossibilitaria a instalação de dois ou mais implantes na região distal. Ainda, segundo os autores, trata-se de tratamento promissor, seguro, eficaz e de menor custo. Além disso, os pacientes relatam poucos problemas na utilização da prótese, gerando alta satisfação, com aumento significativo de conforto e parâmetros funcionais. No entanto, outros autores^{8,16,17} relataram altas taxas de falhas em *overdenture* mandibular retida por implante único.

Embora existam evidências clínicas confiáveis da eficácia da *overdenture* mandibular sobre implante único, poucos estudos exploraram a biomecânica desta abordagem de tratamento. Então, compreender a distribuição da carga ao redor do implante pode fornecer informações importantes para orientar o protocolo de tratamento cirúrgico e protético^{5,8}.

Além do número de implantes, o tipo de conexão entre implante/*abutment* é outro parâmetro essencial para avaliar o comportamento biomecânico das próteses implantossuportadas^{18,19}, além de existir divergências quanto ao melhor sistema de conexão. A dissipação de tensões quando *overdentures* mandibulares são submetidas à carga

oclusal é bem documentada, principalmente, para conexão externa^{14,22}. Estes são mais propensos à perda do parafuso, devido à maior concentração de forças no parafuso do intermediário¹⁴. Nestas situações, implantes *cone morse* podem ser utilizados, pois a pressão da conexão cônica e a alta área de atrito na região implante-pilar fornece uma conexão mais segura¹⁸, possuem baixa incidência de falha e complicações biomecânicas^{19,20}.

Sabe-se que a sobrecarga oclusal promove deformações no osso ao redor dos implantes quando as tensões excedem o limite fisiológico, podendo causar microfraturas na interface osso-implante, fraturas do implante, afrouxamento dos componentes do implante e reabsorções ósseas indesejadas^{4-6,8,9,18,20-37}. Entre as metodologias utilizadas para análise de distribuição de tensões em próteses implantossuportadas, estão a análise fotoelástica e extensométrica. É importante enfatizar que vários estudos²¹⁻²⁴ mostraram que as análises se complementam e utilizam a fotoelasticidade e a extensometria em conjunto para avaliar tensões ao redor do sistema prótese/implante/osso.

Embora as *overdentures* retidas por implante único sejam uma alternativa promissora para pacientes desdentados, os dados publicados a respeito de *overdentures* retidas por implante único são escassos, necessitando ser investigado minuciosamente. Além disso, não existem estudos biomecânicos que avaliam as tensões de *overdentures* retidas por implantes com conexão *cone morse*, comparando com implantes com hexágono externo e, especialmente, por meio da associação de dois métodos de análise de tensão.

OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar por meio de análise fotoelástica (AF) e extensométrica (AE), o comportamento biomecânico de *overdentures* retidas por 01 ou 02 implantes com diferentes tipos de conexões (*cone morse* ou hexágono externo), submetidas à compressão. As hipóteses deste estudo são 1) o sistema *cone morse* apresentará menores valores de tensão, independente do número de implantes; 2) as *overdentures* retidas por 02 implantes apresentarão maior tensão que as retidas por 01 implante.

MATERIAL E MÉTODO

Divisão dos Grupos

Os espécimes foram divididos em quatro grupos de 01 espécime cada para a análise fotoelástica e quatro grupos de 05 espécimes cada para a análise extensométrica, de acordo com número de implante e tipo de conexão, como mostra a tabela 1. Foram confeccionados vinte e quatro espécimes, destes 4 de resina fotoelástica (PL-2, Vishay, Micro-Measurements Group, Inc Raleigh, N.C. EUA) e 20 de poliuretano (F160 Axson Brasil, Socorro, São Paulo, Brasil). Para cada grupo foi confeccionada uma prótese *overdenture* para realização dos testes.

Confecção dos Modelos

Tabela 1 Divisão dos grupos testados.

Grupos	Sistema de conexão	Número de implantes	Dimensão	Sistema de attachments
CM - S	Cone morse	01	4x11,5 mm	O'ring
CM - T	Cone morse	02	4x11,5 mm	O'ring
HE - S	Hexágono externo	01	4x11,5 mm	O'ring
HE - T	Hexágono externo	02	4x11,5 mm	O'ring

Inicialmente, um modelo laboratorial de uma mandíbula edêntula (Fig. 1) foi duplicada por meio de silicone artesanal (Sapeca Artesanato, Bauru, São Paulo, Brasil) a fim de se obter um molde que foi vazado com gesso especial tipo IV (Durone, Dentsply Ind., Rio de Janeiro, Brasil), para a confecção de 04 modelos de gesso. Posteriormente, os modelos de gesso foram perfurados para receber os análogos (DSP Biomedical, Campo Largo, Paraná, Brasil) correspondentes a cada grupo. Para os grupos CM – S e HE - S, o implante foi localizado na linha média da sínfise. Para os grupos CM – T e HE - T foram realizadas duas marcações distanciando 22 mm o que condiz com a região de caninos. Após a perfuração, os análogos, foram conectados com seus respectivos transferentes quadrados (DSP Biomedical, Campo Largo, Paraná, Brasil) e foram

posicionados no seu longo eixo com ajuda de um delineador (Bio-Art B 2 Equipamentos Odontológicos, Brasil).



Figura 1. Modelo de gesso de uma mandíbula edêntula.

Para obtenção do novo molde para a confecção dos modelos fotoelásticos e de poliuretano, nos grupos CM - T e HE - T os transferentes foram unidos, um ao outro, com fio dental e resina acrílica Duralay (Duralay Reliance Dental, MFG Co Worth, IC, USA). Os modelos de gesso com os transferentes posicionados foram moldados com silicone artesanal (Fig. 2).



Figura 2. Moldagem com silicone fluido do modelo de gesso com os transferentes posicionados.

Após o vazamento e presa final do silicone fluido, os parafusos dos transferentes foram removidos, para permitir a remoção dos modelos de gesso, obtendo-se assim as matrizes de silicone com os transferentes já posicionados. A estes transferentes foram adaptados e parafusados os implantes *cone morse* ou hexágono externo. Em seguida, os moldes foram preenchidos com resina fotoelástica PL-2, obtendo os modelos

fotoelásticos que foram utilizados na pesquisa (Fig. 3). Após a polimerização da resina PL-2 sob pressão de 40 lbf/pol² o modelo foi separado cuidadosamente do molde, sendo submetido ao acabamento e polimento, o qual foi realizado com lixas d'água de granulações finas (600, 800, 1200 e 1500) (Fig. 4).



Figura 3. Resina fotoelástica PL 2 (a), manipulação e vazamento da resina fotoelástica (b) e resina sob pressão de 40 lbf/pol²(c).



Figura 4. Modelos fotoelásticos finalizados.

Para a análise extensométrica foram confeccionados 05 espécimes para cada grupo. Para isso, foi utilizada a mesma matriz de silicone descrita anteriormente, onde os respectivos implantes foram posicionados e posteriormente, preenchidos com poliuretano F160, obtendo os modelos para análise extensométrica realizando o mesmo protocolo de acabamento e polimento previamente descrito.

Foram confeccionadas quatro próteses *overdentures* de acordo com o número de implantes (Tabela 1). Para a confecção destas, foi utilizada a técnica laboratorial convencional sobre os modelos de gesso com os análogos em posição. A resina utilizada foi a resina termopolimerizável incolor (Vipi, Pirassununga, São Paulo, Brasil), para melhor observação das tensões expressas por meio de franjas durante o teste fotoelástico. Para a retenção das próteses foi utilizado o sistema de retenção *O'ring* (DSP Biomedical, Campo Largo, Paraná, Brasil). Os *O'rings* de retenção foram rosqueados nos análogos, com torque de 32 Ncm, utilizando torquímetro portátil digital.

Os espaçadores foram posicionados sobre os *O'rings* e a cápsula metálica com o anel de borracha adaptado sobre o conjunto. Após este procedimento, a prótese *overdenture* acrilizada foi utilizada para captura da fêmea (fixação da cápsula metálica na prótese).

As próteses *overdentures* foram adaptadas aos modelos fotoelásticos pelo sistema de retenção, sendo colocados em um polariscópio circular (Eikonal, São Paulo, São Paulo, Brasil) (Fig 5) composto por um recipiente de vidro com óleo mineral até que o modelo seja totalmente submerso, com o objetivo de minimizar a refração de superfície e facilitar a observação das franjas durante a aplicação de cargas. Este recipiente foi acoplado a uma máquina de ensaio universal (EMIC DL-3000, São José dos Pinhais, Paraná, Brasil) para aplicação das cargas axiais de 100N em duas localizações: 1) região anterior e 2) região posterior.

Após as aplicações de cargas, a formação de franjas foi correspondente à tensão registrada. O estresse resultante em todas as áreas do modelo fotoelástico foi monitorado, registrado fotograficamente, através de máquina fotográfica (Canon Rebel T5i) e, subsequentemente visualizado em computador por um programa gráfico (Adobe Photoshop, Adobe Systems, San Jose, Califórnia, USA) com o intuito de facilitar a visualização, compreensão e interpretação tanto da localização como da intensidade das tensões distribuídas ao redor dos implantes e do tecido ósseo. Os dados foram submetidos a análise qualitativa e, para facilitar, a análise foi dividida da seguinte maneira: de acordo com o número de franjas de alta intensidade (transição verde-rosa) e de acordo com a área de distribuição das tensões. Todas as imagens foram avaliadas por um mesmo observador.

A análise através dos extensômetros foi realizada posteriormente à fotoelástica. Inicialmente, dois extensômetros elétricos de resistência foram posicionados horizontalmente na região mesial e distal dos implantes diretamente sobre a crista marginal do modelo de poliuretano. Os fios de cobre provenientes dos extensômetros foram devidamente isolados com silicone na configuração de circuito de 1/4 ponte de Wheatstone. Para cada implante foram montados dois extensômetros ativos. Cada extensômetro foi calibrado para medir, em *microstrains*, os valores de carga imposta (Fig. 5). Foram realizados os mesmos testes de aplicação de carga descritos anteriormente. Cada ensaio foi realizado 5 vezes e os valores de tensão anotados, sendo que a cada ensaio esperam-se os valores de tensão zerar para verificar a ausência de deformação plástica. Os sinais elétricos foram captados por um aparelho de aquisição de dados (ADS2000; Lynx Tecnologia Eletrônica Ltda, São Paulo, SP) controlado por um computador, sendo processados por um software específico

(AqDados 7; Lynx Tecnologia Eletrônica Ltda, São Paulo, SP). Os dados foram submetidos a ANOVA e ao Teste Bonferroni ($P < 0.0001$).

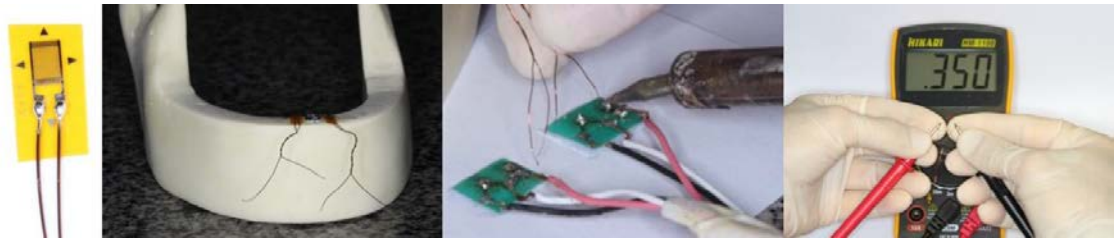


Figura 5. Esquema mostrando os extensômetros localizados na crista marginal mesial e distal do modelo de poliuretano.

RESULTADOS

Análise Fotoelástica:

As *overdentures* retidas por um implante apresentaram o mesmo número de franjas (03), independente do tipo de conexão. Já as *overdentures* retidas por dois implantes apresentaram maior número de franjas de tensão em comparação com as retidas por 01 implante, em ambas as conexões (Tabela 2 e Figs. 6-9).

Tabela 2. Quantidade de franjas de alta tensão (transição entre o verde-rosa) e moderada (verde/vermelho), de acordo com número de implantes e sistemas de conexão.

Grupos	Número de Implantes	
	Um implante	Dois implantes
CM	3	6
HE	3	5

De acordo com a área de concentração de franjas, todos os modelos se mostraram com padrão de distribuição de tensão semelhantes independente do tipo de conexão (Figs. 6-9), observou-se que as tensões foram concentradas no ápice do implante. Ainda, as tensões também foram concentradas na região cervical do implante (Figs. 6B, 7B, 7C, 8C e 9C).

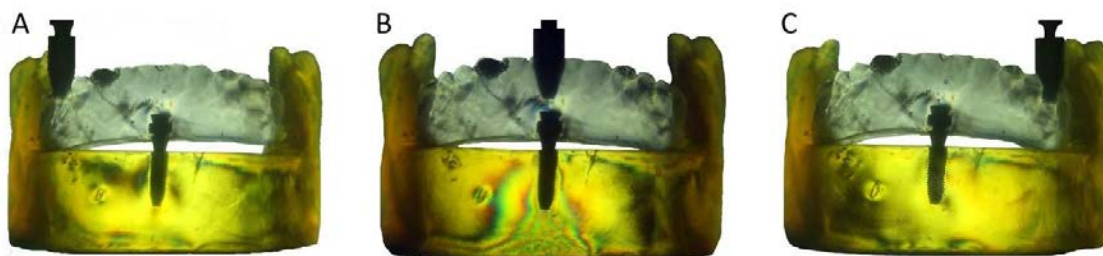


Figura 6: Distribuição das tensões no grupo CM - S (carga aplicada no A - 1° molar direito, B -entre os incisivos centrais e C - 1° molar esquerdo).

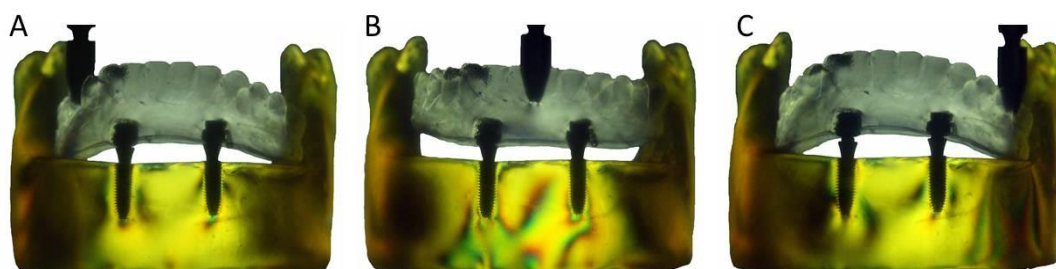


Figura 7: Distribuição das tensões no grupo CM - T (carga aplicada no A - 1° molar direito, B -entre os incisivos centrais e C - 1° molar esquerdo).

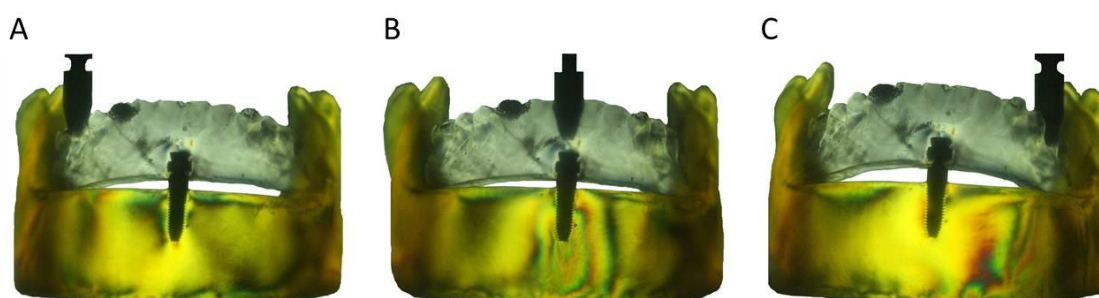


Figura 8: Distribuição das tensões no grupo HE - S (carga aplicada no A - 1° molar direito, B -entre os incisivos centrais e C - 1° molar esquerdo).

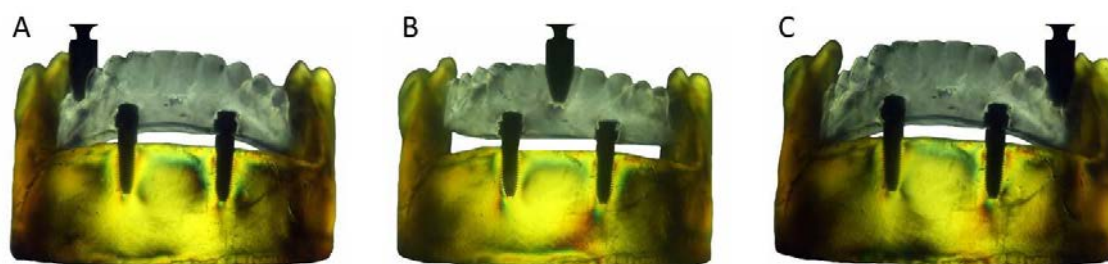


Figura 9: Distribuição das tensões no grupo HE - T (carga aplicada no A - 1° molar direito, B -entre os incisivos centrais e C - 1° molar esquerdo).

Análise Extensométrica

Os dados extensométricos foram submetidos a ANOVA e ao Teste de Bonferroni ($P < 0.0001$). A partir das leituras da extensometria, os valores médios de (*microstrains*) para cada grupo (Tabelas 2 e 3) mostraram que o sistema de conexão, número de implantes e local de aplicação de carga influenciam nos valores de tensão ($p < 0.0001$). Ainda, houve maiores valores de tensão (*microstrains*) nas *overdentures* retidas por dois implantes quando comparadas com as suportadas por implante único ($p < 0.0001$). (Figura 10)

Tabela 3: Análise de Variância (ANOVA) com comparação entre o tipo de conexão, número de implantes e local de aplicação da força de compressão em *overdentures* mandibulares.

Fatores de Variação	<i>df</i>	SS	MS	F	<i>P</i>
Local de aplicação	1	20600.252	20600.252	9847.698	<.0001*
Local de aplic × número de implant	1	1075.888	1075.888	514.315	<.0001*
Local de aplic × sist de conexão	1	374.238	374.238	178.900	<.0001*
Local de apli × número de implant × sist. de conexão	1	34.615	34.615	16.547	<.0001*
Erro	16	33.470	2.092		
Número de implante	1	3933.281	3933.281	1709.221	<.0001*

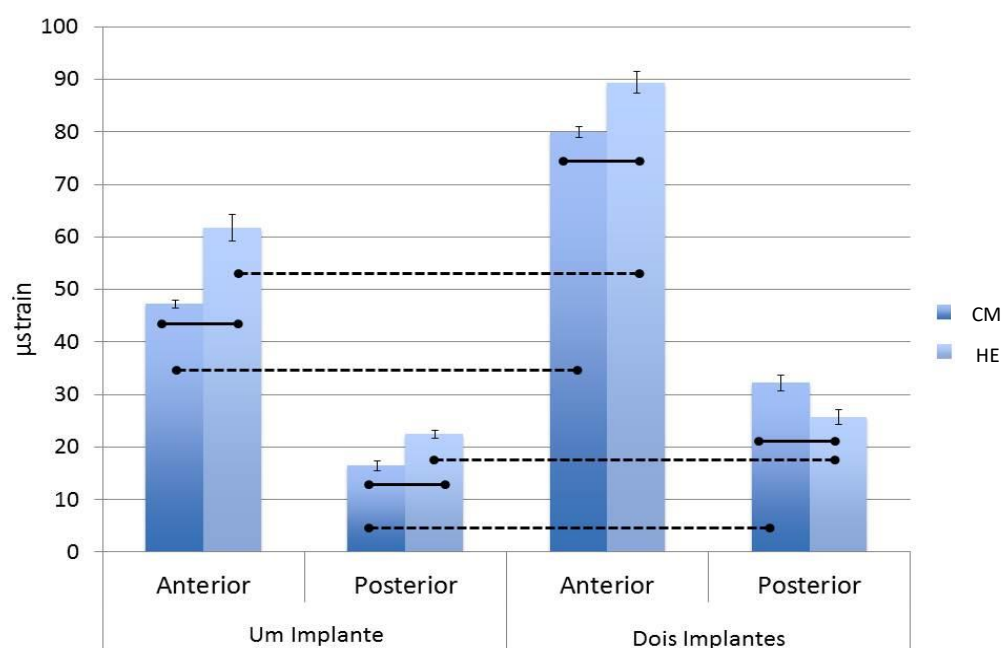
Sistema de conexãp	1	341.933	341.933	148.588	<.0001*
Número de implane × sist de conexão	1	193.028	193.028	83.881	<.0001*
Erro	16	36.819	2.031		

* $P < 0.05$ denota diferença estatística significante.

As *overdentures* retidas por implantes unitários apresentaram menores valores de tensão, quando comparados à *overdentures* retidas por dois implantes, independente do tipo de conexão ($P < 0.0001$) e local de aplicação de carga ($P < 0.0001$) (Figura 10).

Ainda, houve diferença estatística significante entre valores de tensão (*microstrains*) entre os sistemas de conexão e local de aplicação de carga ($p < 0.0001$).

Figura 10. Valores médios (desvio padrão) de tensão (*microstrains*) entre os sistemas de conexão, número de implantes e local de aplicação de cargas em *overdentures* implantorretidas.



Barras conectadas por linhas inteiras mostram diferença estatística entre CM e HE dentro do mesmo local de aplicação de carga e mesmo número de implantes ($P < 0.0001$, Teste de Bonferroni). Barras conectadas por linhas tracejadas mostram diferença estatística entre *overdentures* retidas por 1 e 2 implantes dentro do mesmo local de aplicação de carga e mesmo sistema de conexão ($P < 0.0001$, Teste de Bonferroni).

DISCUSSÃO

As hipóteses foram aceitas, já que o sistema *cone morse* apresentou menores valores de tensão (*microstrains*) independente do número de implantes. Ainda, as *overdentures* retidas por dois implantes apresentaram maiores valores de tensão quando comparadas com as retidas por um único implante, em ambos os métodos de análise.

A *overdenture* mandibular implantossuportada corresponde a um tratamento eficiente para pacientes desdentados, principalmente para aqueles que encontraram problemas no uso da prótese total convencional^{1,3,10,13,15}. Suas principais vantagens são: número reduzido de implantes, processo cirúrgico facilitado, técnica restauradora simples e retenção eficiente¹⁻⁸. Para a longevidade do tratamento reabilitador com *overdenture*, também é de suma importância não causar carga excessiva nos implantes^{14,18,20,22}. Para isso, é fundamental que o implante receba o mínimo de carga possível, pois, quando acontece a sobrecarga, os gradientes de deformação excedem os limites fisiológicos do osso, causando vários danos ao sistema prótese/implante/osso^{4-6,8,9,18,20-37}.

Diante disso, a seleção do número de implante e do sistema de conexão são fatores cruciais para o sucesso de *overdentures*^{1,2,4-7,9,10-18,28,31,34}. No entanto, devido à escassez de estudos na literatura sobre os efeitos do número de implante e do sistema de conexão na distribuição de tensão em *overdenture*, nenhuma evidência confiável demonstra que um determinado número de implantes ou sistema de conexão oferece um melhor resultado em comparação com outro^{5,8,10,25,26-29}.

Clínicos afirmam que, com um aumento no número de implante, o valor máximo de deformação no osso periimplantar diminuirá e a tensão no osso seria mais amplamente distribuída. Isto baseou-se no pressuposto de que, ao adicionar mais implantes para ancoragem e suporte, a força suportada por cada implante diminuiria, resultando em uma diminuição da tensão no osso^{1,8,24,27}. No entanto, o mesmo não foi demonstrado em nosso estudo. De acordo com nossos resultados, observou-se pela análise fotoelástica que todos os grupos apresentaram quantidade similar de franjas de alta tensão, independentemente do número de implantes e sistema de conexão. Ainda, houve maior número de franjas nos grupos suportados por dois implantes quando comparados com implante único, em ambas as conexões (Tabela 2 e Figs. 6-9). Pela análise extensométrica, houve diferença estatística significativa entre o número de implantes ($P<0.0001$), sendo que as *overdentures* retidas por implante único apresentaram menores valores de tensão quando comparados à *overdentures* retidas por dois implantes, em ambos sistemas de conexão (Figura 10). Resultado que

corroborar com outros estudos^{4,5,8,30,31}, nos quais foi comparada e avaliada a distribuição de tensão entre *overdentures* retidas por um ou dois implantes para a reabilitação de pacientes desdentados mandibulares. Verificaram uma concentração e distribuição favorável de tensão nas *overdentures* mandibulares retida por implante único, além disso, maiores tensões foram encontradas nas retidas por dois implantes.

Os menores valores de tensões encontradas nas *overdentures* retidas por implante único justifica-se pelo fato de que a distribuição de força mastigatória nestes casos utiliza o suporte de mucosa para dissipar as tensões, o que proporciona uma distribuição de estresse mais favorável na dimensão horizontal, limitando problemas como a reabsorção periimplantar^{16,28,31}. Ainda, o implante único é menos propício às forças de rotação, gerando uma distribuição mais uniforme das forças oclusais¹⁶. O que vai de acordo com o estudo de Nascimento *et al.*⁵, que mostrou concentração e distribuição de tensão favorável em *overdenture* mandibular retida por implante único. Segundo os autores, a maior parte da carga oclusal é constantemente transferida para a mucosa de suporte da prótese. O que reforça o conceito de que este tratamento possui características biomecânicas semelhantes à prótese convencional, com suporte primário da mucosa e com a vantagem adicional de retenção de implante.

Desse modo, o aumento do número de implantes deslocou o suporte da mucosa para o implante^{32,33}. Ainda, na *overdenture* mandibular retida por dois implantes, a base da prótese tende a rotacionar em torno da linha de fulcro entre os dois implantes⁵, além disso, os implantes podem ser submetidos a um movimento de flexão considerável transferido por meio das conexões protéticas^{5,30}.

Outra vantagem do implante único é sua instalação na região anterior da mandíbula, sendo esta a região de escolha por diferentes razões: osso cortical mais espesso, menor risco cirúrgico devido a menor chance de atingir o nervo alveolar inferior e vasos sanguíneos e, finalmente, maior área de suporte de tecido para evitar a sobrecarga no implante^{2,4,5,9,24,28,34,36}.

Por outro lado, Maeda *et al.*²² realizaram um estudo *in vitro* usando a análise extensométrica, onde observaram que as *overdentures* com implante único possuem efeitos biomecânicos semelhantes às *overdentures* com dois implantes. Para Liu *et al.*⁸, sob carga vertical na região anterior, a *overdenture* com implante único tende a girar sobre o implante de um lado para o outro. Ainda, segundo os autores, o uso de *overdenture* sobre implante único produz concentração de tensão no osso/implante dentro dos limites fisiológicos e pode ser uma escolha viável para pacientes edêntulos.

Estudos clínicos^{1,2,8,12,15,34} não mostraram diferença significativa na reabsorção óssea periimplante entre as *overdenture* retidas por um ou dois implantes, indicando que a tensão no osso ao redor dos implantes estava dentro do limiar fisiológico, tendo

pouco efeito na taxa de sobrevivência do implante, além disso, também sugerem que as *overdentures* mandibulares sobre implante único são uma opção de tratamento eficiente e benéfica para edêntulos e menor custo. Ainda, demonstraram que a *overdenture* com implante único apresentaram maior retenção e estabilidade quando comparada com a prótese total convencional. Além disso, os efeitos biomecânicos foram comparáveis aos observados em uma *overdenture* mandibular retida por dois implantes.

Vários estudos^{12,18,19,35-37,39} ressaltaram as vantagens mecânicas dos sistemas de conexão *cone morse* em relação ao hexágono externo, tais como: maior resistência, estabilidade, menos *microgap* e perda óssea, maior resistência mecânica, menos complicações mecânicas e distribuição das tensões de forma mais uniforme. Em nosso estudo a superioridade biomecânica do sistema *cone morse* em relação ao hexágono externo também ocorreu. Somente nas *overdentures* retidas por dois implantes pela análise fotoelástica e quando foi aplicada carga na região posterior pela análise extensométrica, o sistema hexágono externo apresentou menor valor de tensão em comparação com *cone morse*. Outros autores^{12,39} também relataram maior tensão em torno dessas conexões de implantes do que quando usado o hexágono externo. Acredita-se que quando unimos implantes com conexão interna, suas configurações geométricas têm influência direta na instalação correta dos implantes, sendo este um aspecto de fundamental importância para o sucesso da reabilitação. Por isso, uma falta mínima de paralelismo pode influenciar a concentração de tensão causada pelo seu sistema de conexão.

CONCLUSÃO

Dentro das limitações do estudo conclui-se que:

- O número de implantes influenciou na distribuição de tensão em *overdentures* mandibulares, sendo maior nas retidas por dois implantes.
- O sistema de conexão tem efeito significativo nos valores de tensões, tendo o sistema *cone morse* gerando menor tensão independente do número de implantes.
- Biomecanicamente as *overdentures* mandibulares retidas por implante único podem ser indicadas como uma opção de tratamento viável e eficiente para a reabilitação de pacientes edêntulos, principalmente, quando utilizamos o sistema *cone morse*.

Referências

1. Alqutaibi AY, Kaddah AF, Farouk M. Randomized study on the effect of single-implant versus twoimplant retained overdentures on implant loss and muscle activity: a 12-month follow-up report. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2017; 46: 789–797.
2. Cheng T, Ma L, Liu XL, Sun GF, He XJ, Huo JY , Wang YN. Use of a single implant to retain mandibular overdenture: A preliminary clinical trial of 13 cases. *Journal of Dental Sciences* 2012;7:261-266.
3. Cheng T, Sun G, Huo J, He X, Wang Y, Ren YF. Patient satisfaction and masticatory efficiency of single implant-retained mandibular overdentures using the stud and magnetic attachments. *Journal Dent.* 2012;24:1018-1023.
4. Lahoti K, Pathrabe A, Gade J. Stress analysis at bone-implant interface of single- and two-implant-retained mandibular overdenture using three-dimensional finite element analysis. *Indian J Dent Res* 2016;27:597-601.
5. Nascimento JFM, Aguiar-Junior FA, Nogueira TE, Rodrigues RCS, Leles CR. Photoelastic Stress Distribution Produced by Different Retention Systems for a Single-Implant Mandibular Overdenture. *Journal of Prosthodontics* 2015;24: 538-542.
6. Celik G, Uludag B. Effect of the Number of Supporting Implants on Mandibular Photoelastic Models with Different Implant-Retained Overdenture Designs. *Journal of Prosthodontics* 2014;23: 374-380.
7. Kono K, Kurihara D, Suzuki Y, Ohkubo C. In Vitro Assessment of Mandibular Single/Two Implant-Retained Overdentures Using Stress-Breaking Attachments. *Implant dentistry* 2014;23:456-462.
8. Liu J, Pan S, Dong J , Mo Z, Fan Y , Feng H. Influence of implant number on the biomechanical behaviour of mandibular implant-retained/supported

- overdentures: A three-dimensional finite element analysis. *Journal of dentistry* 2013;32:241-249.
9. Topkaya T, Solmaz MY. The effect of implant number and position on the stress behavior of mandibular implant retained overdentures: A three-dimensional finite elemento analysis. *Journal of Biomechanics* 2015;48:2102-2109.
 10. Roccuzzo M, Bonino F, Gaudioso L, Zwahlen M, Meijer HJ. What is the optimal number of implants for removable reconstructions? A systematic review on implant-supported overdentures. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23:229-37.
 11. Alsabeeha N, Payne AG, De Silva RK, Swain MV. Mandibular single-implant overdentures: a review with surgical and prosthodontic perspectives of a novel approach. *Clin Oral Implants Res.* 2009; 20: 356-365.
 12. Walton JN, Glick N, Macentee MI. A randomized clinical trial comparing patient satisfaction and prosthetic outcomes with mandibular overdentures retained by one or two implants. *Int J Prosthodont.* 2009; 22: 331-339.
 13. Tavakolizadeh S, Vafaee F, Khoshhal M, Ebrahimzadeh Z. Comparison of marginal bone loss and patient satisfaction in single and double-implant assisted mandibular overdenture by immediate loading. *J Adv Prosthodont* 2015;7:191-8.
 14. Harder S, Wolfart S, Egert C, Kern M. Three-year clinical outcome of single implant-retained mandibular overdentures – results of preliminary. *Journal of Dentistry* 2011;39:656-61.
 15. Kronstrom M, Davis B, Loney R, Gerrow J, Hollender L. Satisfaction and Clinical Outcomes Among Patients with Immediately Loaded Mandibular Overdentures Supported by One or Two Dental Implants: Results of a 5-Year Prospective Randomized Clinical Trial. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2017;32:128-136.
 16. Liddelow GJ, Henry PJ. A prospective study of immediately loaded single implant-retained mandibular overdentures: preliminary one-year results. *J Prosthet Dent.* 2007;97:126-37.

17. Rebeeah HA, Yilmaz B, Seidt JD, McGlumphy E, Clelland N, Brantley W. Comparison of 3D displacements of screw-retained zirconia implant crowns into implants with different internal connections with respect to screw tightening. *J Prosthet Dent*. 2017;17:30213-5.
18. Lee J, Kim DG, Park CJ, Cho LR. Axial displacements in external and internal implant-abutment connection. *Clin Oral Implants Res* 2014;25:83-9.
19. Gotfredsen K, Berglundh T, Lindhe J. Bone reactions adjacent to titanium implants subjected to static load of different duration. A study in the dog (III). *Clinical Oral Implants Research* 2001;12:552-8.
20. Pesqueira AA, Goiato MC, Filho HG, Monteiro DR, Santos DM, Haddad MF, Pellizzer EP. Use of stress analysis methods to evaluate the biomechanics of oral rehabilitation with implants. *J Oral Implantol*. 2014;40:217-28.
21. Akça K, Cehreli MC. A photoelastic and strain-gauge analysis of interface force transmission of internal-cone implants. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2008;28:391-9.
22. Maeda Y, Horisaka M, Yagi K. Biomechanical rationale for a single implantretained mandibular overdenture: an in vitro study. *Clin Oral Implants Res*. 2008;19:271-5.
23. Elsyad MA, Al-Mahdy YF, Salloum MG, Elsaih EA. The effect of cantilevered bar length on strain around two implants supporting a mandibular overdenture. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2013;28:e143-50.
24. Mangano C, Mangano F, Piattelli A, Iezzi G, Mangano A, La Colla L. Prospective clinical evaluation of 307 single-tooth morse taper-connection implants: a multicenter study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2010;25:394-400.
25. Mangano C, Mangano F, Piattelli A, Iezzi G, Mangano A, La Colla L. Prospective clinical evaluation of 1920 Morse taper connection implants: results after 4 years of functional loading. *Clin Oral Implants Res*. 2009;20:254-61.

26. Mangano C, Mangano F, Shibli JA, Tettamanti L, Figliuzzi M, d'Avila S, Sammons RL, Piattelli A. Prospective evaluation of 2,549 Morse taper connection implants: 1- to 6-year data. *J Periodontol.* 2011;82:52-61.
27. Kimoto S, Pan S, Drolet N, Feine JS. Rotational movements of mandibular two-implant overdentures. *Clinical Oral Implants Research* 2009;20:838–43.
28. Cordioli G, Majzoub Z, Castagna S: Mandibular overdentures anchored to single implants: a five-year prospective study. *J Prosthet Dent* 1997;78:159-165.
29. Topkaya T, Solmaz MY. The effect of implant number and position on the stress behavior of mandibular implant retained overdentures: A three-dimensional finite element analysis. *J Biomech.* 2015;48:2102-9.
30. Burns, DR. The mandibular complete overdenture. *Dent Clin North Am.* 2004;48:603-23.
31. Alsabeeha NH, Payne AG, De Silva RK, Thomson WM. Mandibular single-implant overdentures: preliminary results of a randomised-control trial on early loading with different implant diameters and attachment systems. *Clinical Oral Implants Research* 2011;22:330-7.
32. de Oliveira Silva TS, Mendes Alencar SM, da Silva Valente V, de Moura CDVS. Effect of internal hexagonal index on removal torque and tensile removal force of different Morse taper connection abutments. *J Prosthet Dent.* 2017;117:621-627.
33. Maeda Y, Satoh T, Sogo M. In vitro differences of stress concentrations for internal and external hex implant- abutment connection: a short communication. *J. Oral. Rehab.* 2006;33:75-78.
34. Vigolo P, Gracis S, Carboncini F, Mutinelli S; AIOP (Italian Academy of Prosthetic Dentistry) Clinical Research Group. Internal- vs External-Connection Single Implants: A Retrospective Study in an Italian Population Treated by Certified Prosthodontists. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2016;31:1385-1396.
35. Jorge JR, Barao VA, Delben JA, Assuncao WG. The role of implant/abutment system on torque maintenance of retention screws and vertical misfit of implant-

supported crowns before and after mechanical cycling. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013;28:415-22.

36. Gonda T, Maeda Y, Walton JN, MacEntee MI. Fracture incidence in mandibular overdentures retained by one or two implants. *J Prosthet Dent.* 2010;103:178-81.

37. Dailey B, Jordan L, Blind O, Tavernier B. Axial displacement of abutments into implants and implant replicas, with the tapered cone-screw internal connection, as a function of tightening torque. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24:251–256.

38. Jorge JR, Barao VA, Delben JA, Assuncao WG. The role of implant/abutment system on torque maintenance of retention screws and vertical misfit of implant-supported crowns before and after mechanical cycling. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013;28:415-22.

39. Gonda T, Maeda Y, Walton JN, MacEntee MI. Fracture incidence in mandibular overdentures retained by one or two implants. *J Prosthet Dent.* 2010;103:178-81.

40. Dailey B, Jordan L, Blind O, Tavernier B. Axial displacement of abutments into implants and implant replicas, with the tapered cone-screw internal connection, as a function of tightening torque. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009;24:251–256.