

RESSALVA

Atendendo solicitação do (a) autor
(a), o texto completo desta tese será
disponibilizado a partir de

24/08/2022



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia

GUILHERME SCHMITT DE ANDRADE

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES DESENHOS DE PREPARO
PARA RESTAURAÇÕES PARCIAIS INDIRETAS DE
COBERTURA TOTAL**

GUILHERME SCHMITT DE ANDRADE

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES DESENHOS DE PREPARO
PARA RESTAURAÇÕES PARCIAIS INDIRETAS DE
COBERTURA TOTAL**

Tese apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de DOUTOR, pelo Programa de Pós-Graduação em ODONTOLOGIA RESTAURADORA.

Área: Prótese dentária. Linha de Pesquisa: Desempenho de Materiais Reabilitadores Protéticos

Orientador: Prof. Assoc. Guilherme de Siqueira Ferreira Anzaloni Saavedra

São José dos Campos

2021

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2021]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

de Andrade, Guilherme Schmitt
Avaliação de diferentes desenhos de preparo para restaurações parciais indiretas de cobertura total / Guilherme Schmitt de Andrade. - São José dos Campos : [s.n.], 2021.
100 f. : il.

Tese (Doutorado em Odontologia Restauradora) - Pós-Graduação em Odontologia Restauradora - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2021.

Orientador: Guilherme de Siqueira Ferreira Anzaloni Saavedra.

1. Estresse mecânico. 2. Análise de elementos finitos. 3. Restaurações intracoronárias. 4. Falha de restauração dentária. 5. Acurácia dos dados. I. Saavedra, Guilherme de Siqueira Ferreira Anzaloni, orient. II. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. III. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. IV. Universidade Estadual Paulista (Unesp). V. Título.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Assoc. Guilherme de Siqueira F. A. Saavedra (Orientador)

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Titular Marco Antonio Bottino

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Assoc. Mauro Pedrine Santamaria

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Titular Luiz Narciso Baratieri

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Curso de Graduação em Odontologia

Campus de Florianópolis

Prof. Assoc. Rolando Plümer Pezzini

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)

Curso de Graduação em Odontologia

Campus de Cascavel

São José dos Campos, 24 de agosto de 2021

DEDICATÓRIA

A **Deus**, por me dares exatamente o que preciso e sempre na hora certa.

Dedico esse trabalho a minha mãe **Vera Lucia Schmitt**, uma mulher guerreira, que não poupou esforços para que eu concluísse esse projeto e que sempre se dedicou pela felicidade da nossa família.

Dedico também ao meu pai **Marco Antônio Abreu de Andrade**, que sempre esteve ao meu lado. Meu grande amigo e parceiro!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus** por ser tão generoso comigo, me dando força, saúde e alegria, mesmo nos momentos de dúvidas e dificuldades.

Ao meu Orientador, mestre e amigo **Prof. Assoc. Guilherme de Siqueira Ferreira Anzaloni Saavedra**. Muito obrigado por compartilhar sua sabedoria, o seu tempo e sua experiência. Tenho muitíssima admiração pela sua paixão e dedicação pela profissão de clínico e professor! Espero manter nossa parceria e amizade por muito tempo!

A **Profa. Tit. Regina Puppini Rontani** (FOP-UNICAMP), exemplar professora e pesquisadora que tive a oportunidade e honra de conhecer antes da graduação. Graças a sua confiança e indicação, que vim para São José dos Campos fazer minha Pós-graduação!

Ao querido **Prof. Tit. Marco Antonio Bottino** pela coordenação da especialidade de Prótese Dentária do programa, e pelas lições de vida que nos passou, a cada reunião de sexta-feira, e por tudo que o senhor fez pela nossa amada profissão! Foi após ler a obra "*Percepção*" que tive a certeza que meu lugar seria a UNESP de São José dos Campos, onde fui muito feliz durante esses 5 anos. Tenho pelo senhor imensa admiração!

Ao **Prof. Tit. Clovis Pagani**, meu querido mestre! Jamais esquecerei sua ajuda nos momentos difíceis e as oportunidades que deu a mim e a Marina durante essa trajetória!

Ao **Prof. Assoc. Alexandre Luiz Souto Borges**, que contribuiu imensamente para a minha formação como pesquisador e docente, me fez encontrar na biomecânica uma nova paixão. Muito obrigado!

Ao **Prof. Assoc. Eduardo Bresciani**, pela parceria e amizade durante todos esses anos! Obrigado por permitir que um louco da Prótese estagiasse na clínica de Dentística! Aprendi muito com você professor!

Ao **Prof. Assoc. Luis Felipe Valandro**, obrigado pelos ensinamentos! Devo a nossa parceria uma grande parte do meu aprendizado!

Ao **Prof. Assoc. Lafayette Nogueira**, grande pescador e grande professor! Obrigado pelas pescarias e pela oportunidade que me foi dada por você e pelo Prof. Bottino de estagiar na Clínica de Implante! Aprendi muito com você!

Ao **Prof. Assoc. Adriano Bressane**, sua consultoria e ensinamentos enriqueceram imensamente esse trabalho. Cada questionamento seu me forçou a sair

da zona de conforto e buscar mais conhecimento. O senhor é um grande mestre! Espero que possamos comemorar com mais esse artigo publicado!

Ao **Prof. Max Neisser** que com seu bom humor e boas histórias tornaram esses anos ainda melhores, obrigado pelo carinho de sempre!

Agradeço também a **Profa. Dra. Renata Marques de Melo Marinho**, pelo suporte durante o Mestrado e Doutorado. Devo muito da minha formação a você.

Aos professores do **Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese (DMOP)** e do **Departamento de Odontologia Restauradora**, com os quais tive o prazer de conviver e aprender muito durante o meu Mestrado e Doutorado. Em especial aos professores: **Prof. Assoc. Tarcísio**, **Prof. Dr. Rodrigo Máximo**, **Prof. Dr. João Mauricio**, **Prof. Assoc. Taciana Marco Ferraz Caneppele** e **Prof. Assoc. César Pucci**. Meus agradecimentos pela amizade, pelos ensinamentos a mim passados e pela disposição em sempre nos ajudar.

Agradeço a **todos professores** que contribuíram diariamente com seu conhecimento e dedicação e que foram importantes na minha jornada profissional.

Aos colegas da pós-graduação do presente e dos que já passaram, obrigado pelo bom convívio: **Amanda Ribeiro**, **Amir**, **Ana (Preju)**, **Ana Mafetano**, **Cássia**, **Carlos Datte**, **Cristiane**, **Dario Adolphi**, **Dayana**, **Fernanda Papaiz**, **Guilherme Scalzer**, **Gabriela Freitas**, **Gabriela Nishioka**, **Hilton Riquieri**, **Isabela Tanaka**, **Jaiane**, **Jéssica**, **Jefferson Chaves**, **Jefferson de Matos**, **Jiro Nakano**, **Julio Ferraz**, **Jonas**, **Laís**, **Larissa Barreto**, **Larissa Mendes**, **Ligia**, **Leo Silva Gomes**, **Luigi**, **Marcos Paulo**, **Manassés**, **Michelle de Sá**, **Mirian**, **Patrícia**, **Pedro**, **Priscila Rossi**, **Pollyana**, **Tabata**, **Taiana Prado**, **Rossana Gaudio** e **Amanda Dal Piva**. Especialmente, aos brilhantes ex-colegas e hoje Professores **Nathalia de Carvalho Ramos** e **João Paulo Mendes Tribst**, meu muito obrigado. Vocês foram fundamentais para minha formação, por isso merecem o meu eterno agradecimento.

As colegas **Bruna** e **Adrielle**, que me ajudaram como membros discentes do Conselho do Programa de Pós-Graduação em Odontologia Restauradora da gestão de 2020. E também, aos funcionários da **Secretaria de Pós-graduação**, **Bruno**, **Sandra** e **Carol** pela ajuda e disposição.

Meus agradecimentos para os colegas **Jean Soares**, **Marcela Moreira** e **Larissa Alves**, companheiros de trabalho e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Ao amigo e parceiro **Dr. Tiago Moreira Bastos Campos** do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA). Obrigado pela amizade e parceria em diversos trabalhos! Aprendi muito com você! Você é brilhante!

Obrigado a nossa equipe de trabalho e queridos amigos: **Ana Beatriz Gomes de Carvalho, Alana Barbosa Alves Pinto, Bárbara Fernandes e Pedro Diamantino**, aprendi muito com cada um de vocês, tenho por vocês grande amizade e consideração! Espero tê-los como parceiros para sempre. Sou muito grato por fazer parte dessa equipe. Agradeço especialmente a colega e amiga **Elisa Grassi**, que confiou na minha “coorientação”, aprendi muito com essa oportunidade! Obrigado!

Às minhas orientadas de Iniciação Científica: **Beatriz Venturoso Simões e Raquel Coutinho de Moraes**, com vocês aprendi talvez o papel mais difícil de um professor que é orientar! Fico muito feliz que hoje vocês também estão na Pós-graduação!

Aos meus queridos amigos e compadres **Ingrid e Prof. Assoc. Mauro Santamaria**, sou muito grato pela amizade e convívio com vocês! Amigos que levarei para a vida!

A todos os meus irmãos que fiz na UNESP e quero levar para vida: **Ana Beatriz, Amjad, Aboud, Eliseo Chun, Esteban, Julio Luz e Fernanda Abu-Izze**, obrigado pela amizade e por todos os momentos juntos. Espero tê-los para vida inteira!

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de **Demanda Social** - DS, no período de 2018-2020.

Aos meus professores da minha primeira e nova casa (**Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste**), é com muita felicidade que retorno para essa instituição! Agradeço em especial aos **Prof. Adriano Picolotto, Prof. Najib, Prof. Rolando e Prof. Formighieri**. Foi uma honra ter vocês como mestres. Tenho vocês como exemplos de competência e sabedoria. A **Profa. Assoc. Fabiana Scarparo Naufel**, por tudo que fez e representa para mim. Obrigado pela amizade, confiança e pelos ensinamentos compartilhados nesse trabalho e durante toda a minha formação acadêmica e pessoal.

Ao **Prof. Tit. Luiz Narciso Baratieri** pela imensa contribuição que o senhor prestou para odontologia! É uma grande honra ter o senhor como banca da minha Tese!

Obrigado aos Professores membros da banca, **Prof. Assoc. Mauro Pedrine Santamaria, Prof. Assoc. Rolando Pezzini, Prof. Tit. Luiz Narciso Baratieri e Prof. Tit. Marco Antonio Bottino**, por disponibilizarem seu tempo para ler esse trabalho, fazer as considerações e, também, por terem participado de forma direta ou indireta para a minha formação.

Agradeço a **Universidade Estadual Paulista** e ao **Instituto de Ciência e Tecnologia de São José dos Campos** pela oportunidade de fazer minha Pós-graduação nessa reconhecida instituição, que hoje chamo de casa. Sou grato não só aos professores, mas também à direção em nome da **Profa. Rebeca Di Nicoló**, ao pessoal do

administrativo, da **limpeza** e demais **colaboradores**, que sempre foram muito solícitos e educados. Aos funcionários da vigilância: **Marco Aurélio**, **José Renato**, **Fernando** e **Gilson**, que sempre foram muito solícitos. Muito obrigado!

Ao Programa de **Pós-Graduação em Odontologia Restauradora**, na pessoa do coordenador **Prof. Assoc. Alexandre Luiz Souto Borges**.

Ao **DMOP** em nome da chefe de departamento **Prof. Dr. Rodrigo Máximo** e corpo técnico, **Juliane**, **Fernandinho**, **Marcão**, **Thais** e **Marcio**. Obrigado por serem tão prestativos. Obrigado também pela alegria, conselhos, pelos cafés, por tornarem o ambiente de trabalho tão leve e prazeroso.

A empresa **Vtech** em nome da engenheira **Isabela Quadros** pela consultoria e pelo escaneamento dos modelos de referência, o seu apoio foi fundamental para realização desse trabalho.

As empresas **VOCO** e **Ivoclar Vivadent** pela a parceria em diversos trabalhos da nossa equipe.

Ao meu pai e grande pescador **Marco Antônio**, pela amizade e companheirismo que me destinou durante esses anos, e por toda a minha vida, sou muito feliz por ser seu filho. Minha mãe e mestre **Vera**, sou muito grato pelo amor e carinho que sempre me dedicou, pelos ensinamentos e modelo de pessoa que és. Sou muito privilegiado por ser filho de vocês, e pela educação e valores que me ensinaram. Tenho vocês como exemplos de vida, dedico essa conquista e todas que ainda virão na minha vida a vocês!

Obrigado também, minha madrinha **Marli**, outro grande exemplo de vida e profissional, seus conselhos sempre me dão forças para buscar meus objetivos. Gostaria também de agradecer meu padrinho **Ricardo** e primos **Carolina** e **Gustavo** que são grandes parceiros e incentivadores. Minha querida avó **Tereza**, a sua trajetória de vida tenho como exemplo! Obrigado por todo o carinho que tens por mim! Meu primo e irmão **Pedro**, pela sua amizade e companheirismo, você sabe que pode sempre contar comigo! E também prestar meus agradecimentos aos meus padrinhos **Charles** (*in memoriam*) e **Lourdes** (*in memoriam*) por tudo o que vocês significam para mim. Sinto muito a falta de vocês! Enfim, a todos meus **Familiares**, que estiveram sempre comigo.

Aos meus irmãos de Cascavel: **Rafael**, **Willian**, **Gustavo**, **Isabela**, **Thiago**, **Gabriel**, **Alexandre**, **João**, **Iury**, independentemente da distância, sem vocês essa caminhada não seria tão gratificante.

Não poderia deixar de agradecer a **Marina** minha companheira, amada e melhor amiga! Sou extremamente grato e realizado por ter você em minha vida! Com sua garra, força e inteligência você me ensina a ser melhor todos os dias! Com sua beleza, carinho e amor me dá força e razão para enfrentar os desafios! Você é brilhante e merece todo o sucesso do mundo! Obrigado por topar essa nova vida junto comigo!

Vamos juntos construir uma linda família e conquistar todos os nossos sonhos! Te agradeço por todo o seu apoio e ajuda nessa jornada desde quando eu era o chato da Prótese na clínica de Dentística, até o momento em que traçamos os contornos do nosso futuro! Você foi fundamental para que essa trajetória se concretizasse! Eu te amo!

A **TODOS** que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

“Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis a nós mesmos.”

Friedrich Nietzsche

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	11
RESUMO	13
ABSTRACT	14
1 INTRODUÇÃO	15
2 ARTIGO(S).....	19
2.1 Artigo – de Andrade GS, Pinto ABA, Tribst JPM, Chun EP, Borges ALS, de Siqueira Ferreira Anzaloni Saavedra G. O Desenho do preparo para restauração parcial indireta de cobertura total afeta a distribuição de tensão de contração residual? / <i>Does overlay preparation design affect polymerization shrinkage stress distribution?</i> *	19
2.2 Artigo – de Andrade GS, Luz JN, Tribst JPM, Chun EP, Bressane A, Borges ALS, Saavedra G. Efeito do desenho do preparo para restauração parcial indireta de cobertura total e do escâner intraoral na veracidade e precisão de modelos digitais / <i>Effect of the full-coverage onlay preparation design and intraoral scanner on the trueness and precision of digital models*</i>	47
3 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	73
REFERÊNCIAS	76
APÊNDICES	80
ANEXOS	99

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BioCAD	Técnica de desenho assistido por computador
C-Factor	Fator de configuração cavitária
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i> (Engenharia Assistida por Computador)
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> (Fabricação Assistida por Computador)
ELE	iTero Element 2, Align Technologies Inc (Modelo de escâner intraoral)
FEA	<i>Finite Element Analysis</i> (Análise por Elementos Finitos)
Fator C	Fator de configuração cavitária
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional para Padronização)
IST	Preparo para restauração parcial indireta de cobertura total com preparo de isto (caixa oclusal)
K	Kelvin (grandeza temperatura termodinâmica)
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Display de Cristal Líquido)
LED	<i>Light-emitting diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
lux	Iluminância (Densidade de Intensidade Luminosa)
L_0	Comprimento inicial
Max	Valor Máximo
Min	Valor Mínimo
MOD	Mesio-ocluso-distal
MPa	Megapascal (unidade padrão de pressão e tensão)
MPS	<i>Maximum Principal Stress</i> (Tensão Máxima Principal)

nRET	Preparo para restauração parcial indireta de cobertura total não retentivo
NURBS	<i>Non-Uniform Rational Basis Spline</i> (Linguagem matemática utilizada em <i>software</i> de desenho computacional)
PRI	PrimeScan, Dentsply Sirona (Modelo de escâner intraoral)
RPI	Restaurações Parciais Indiretas
wIST	Preparo para restauração parcial indireta de cobertura total sem preparo de istmo (caixa oclusal)
stl	<i>Standard Tessellation Language</i> (Linguagem de Tesselação Padrão)
TRI	Trios 3, 3 Shape A/S (Modelo de escâner intraoral)
V_0	Volume inicial
W	<i>Watts</i> (unidade de medida de potência)
ΔL	Variação de comprimento
ΔV	Variação de volume
$\Delta \theta$	Variação de temperatura
γ	Contração volumétrica

de Andrade GS. Avaliação de diferentes desenhos de preparo para restaurações parciais indiretas de cobertura total [tese]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2021.

RESUMO

Este estudo avaliou o efeito de 3 desenhos de preparos dentários para restaurações parciais indiretas de cobertura total na veracidade e precisão de modelos digitais obtidos por 3 escâneres intraorais; e na tensão de contração de polimerização residual por meio de análise de elementos finitos. Foram considerados os seguintes preparos: contendo redução de istmo (IST); sem redução de istmo (wIST) e preparo não retentivo (nRET). Para avaliação da veracidade e precisão, 10 varreduras foram realizadas em modelos referência de resina epóxi de contendo os dentes 45, 47 e com preparo no 46. Os modelos de referência digital foram obtidos usando um escâner industrial. Três escâneres intraorais foram comparados (n=10): Element 2 (ELE); Trios 3 (TRI); Primescan (PRI). A veracidade (μm) e a precisão (μm) foram analisadas em um *software* de sobreposição tridimensional. Os dados foram analisados utilizando os testes de Kruskal-Wallis e Dunn ($\alpha = 0,05$). Para avaliar a tensão de contração, os preparos foram modelados em um dente 46 contendo: esmalte, dentina, cimento, restauração de cerâmica, polpa, ligamento periodontal, osso cortical e esponjoso. As interfaces foram consideradas coladas e os volumes considerados homogêneos, lineares e isotrópicos. A contração do cimento foi simulada e critério de Tensão Máxima Principal foi adotado para análise dos resultados. O preparo não retentivo obteve maior veracidade ($3,8 \mu\text{m}$) e precisão ($2,7 \mu\text{m}$) em comparação com os demais (veracidade = $6-7 \mu\text{m}$, precisão = $4-5 \mu\text{m}$). A veracidade foi menor no grupo ELE $\times$ IST (16), seguido por ELE $\times$ wIST ($13 \mu\text{m}$) e PRI $\times$ IST ($7,8 \mu\text{m}$). Não foi encontrada diferença entre os escâneres PRI e TRI ($6 \mu\text{m}$), com desempenho inferior para ELE ($13 \mu\text{m}$). As discrepâncias positivas foram maiores na proximal em IST e wIST. Os picos de tensão (MPa) de contração seguiram a seguinte sequência: restauração=IST ($13,4$) > wIST ($9,3$) > nRET (9); cimento=IST ($16,9$) > wIST ($12,6$) > nRET ($10-7,5$); dente=IST ($10,7$) > wIST ($10,5$) > (9). Conclui-se que o preparo nRET foi vantajoso para a redução da tensão de contração e para a obtenção de modelos com maior veracidade e precisão.

Palavras-chave: Estresse mecânico. Análise de elementos finitos. Restaurações intracoronárias. Falha de restauração dentária. Acurácia dos dados.

de Andrade GS. Evaluation of different preparation designs for partial indirect full coverage restorations [thesis]. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2021.

ABSTRACT

This study evaluated the effect of 3 preparations designs for full-coverage onlay on the accuracy of digital models obtained by intraoral scanners; and in the polymerization residual shrinkage stress by means of finite element analysis. The following preparations were evaluated: with isthmus preparation (IST); without isthmus preparation (sIST) and non-retentive preparation (nRET). For the evaluation of accuracy, 10 digital impressions were performed in a reference epoxy resin model from a lower hemiarch (teeth 45, 46 and 47) with a preparation on the teeth 46. The digital reference models were obtained using an industrial scanner. Three intraoral scanners were compared (n=10): Element 2 (ELE); Trios 3 (TRI); Primescan (PRI). Trueness (μm) and precision (μm) were analyzed using a three-dimensional superimposition software. Data were analyzed using Kruskal-Wallis and Dunn tests ($\alpha = 0.05$). To assess the shrinkage stress, the preparations were modeled on a tooth #46 containing: enamel, dentin, cement, ceramic restoration, pulp, periodontal ligament, cortical and cancellous bone. The interfaces were considered bonded and the volumes as homogeneous, linear and isotropic. The cement shrinkage was simulated, and the Maximum Principal Stress criterion was adopted to analyze the results. The non-retentive preparation had greater trueness ($3.8 \mu\text{m}$) and precision ($2.7 \mu\text{m}$) compared to the others (trueness = $6-7 \mu\text{m}$, precision = $4-5 \mu\text{m}$). The trueness was lower in the ELE $\times$ IST ($16 \mu\text{m}$), followed by ELE $\times$ wIST ($13 \mu\text{m}$) and PRI $\times$ IST ($7.8 \mu\text{m}$). No difference was found between PRI and TRI scanners ($6 \mu\text{m}$), with lower performance for ELE ($13 \mu\text{m}$). Positive discrepancies were greater in the proximal in IST and wIST. The stress (MPa) of followed the sequence: restoration=IST (13.4) > wIST (9.3) > nRET (9); cement=IST (16.9) > wIST (12.6) > nRET ($10-7.5$); tooth=IST (10.7) > wIST (10.5) > (9). It can be concluded that the nRET preparation was advantageous for reducing the contraction stress and for obtaining models with greater accuracy and precision.

Keywords: Mechanical stress. Finite element analysis. Inlays. Dental restoration failure. Data accuracy.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico da odontologia adesiva possibilitou o uso de materiais restauradores com características que mimetizam o comportamento biomecânico da estrutura dentária (Magne, 2012). Além disso, por possuírem propriedades adesivas com a estrutura dentária, os preparos protéticos para esses materiais são menos dependentes da forma de retenção e estabilidade para garantir sua longevidade (Liebenberg, 1996; Magne, 2012).

Nesse contexto, as restaurações parciais indiretas (RPI) têm sido empregadas como uma alternativa conservadora às coroas totais no tratamento restaurador de grandes perdas de estrutura dentária (Felden et al., 2000; Frankenberger et al., 2008; Magne, Belser, 2002). Isso porque, em restaurações parciais, os limites do preparo protético devem ser determinados pela cavidade preexistente e não pela necessidade de obtenção de formas de retenção e estabilidade (Christensen, 2008; Dietschi, Spreafico, 2015).

No entanto, quando idealizado, o preparo para RPI adesivas do tipo *inlay*, *onlay* e *overlay* pouco diferiam das RPI metálicas fundidas cimentadas com fosfato de zinco. Assim, as principais diferenças entre os preparos adesivos e não adesivos são que as paredes do preparo dentário devem ser mais expulsivas, as caixas proximais e o preparo istmo podem estar presentes, os ângulos agudos devem ser evitados e biseis não são indicados (Christensen, 1988).

Por outro lado, tem sido demonstrado que formas de retenção, como caixas oclusais, podem gerar efeito negativo na resistência à fratura do material restaurador indireto, especialmente para as cerâmicas odontológicas (Clausen et al., 2010; Gomes de Carvalho et al., 2021; Guess et al., 2013). Ademais, essas formas são adquiridas à custa do desgaste da estrutura dentária saudável (Falahchai et al., 2020).

Visando-se solucionar esses aspectos negativos presentes no desenho tradicional de preparo dentário para RPI adesivas, alguns autores têm proposto novas filosofias, associando conceitos de biomecânica e de odontologia minimamente invasiva (Ahlers et al., 2009; Arnetz, Arnetz, 2009; Broderson, 1994; Politano et al., 2018; Veneziani, 2017).

Veneziani (2017) propôs um conceito cujo desenho do preparo deve ser norteado por princípios de bioeconomia e biossubstituição, de forma que o preparo deve apresentar características que melhorem o desempenho dos sistemas adesivos e materiais restauradores. A principal característica desse conceito é a redução anatômica da estrutura dentária e a substituição dos tecidos dentais por materiais restauradores biomiméticos, como cerâmicas odontológicas para esmalte e resina composta para dentina. O preparo não requer redução de istmo, porém ainda é recomendado o preparo de caixas geométricas interproximais com espessura homogênea de 1-1,5 mm.

Posteriormente foi relatada outra filosofia que também visa adaptar os princípios dos preparos odontológicos às características dos materiais adesivos restauradores contemporâneos foi proposta por Politano et al. (2018), denominado "Conceito de Preparo Simplificado Não Retentivo", cujo intuito é fazer com que a restauração funcione como uma unidade biomecânica junto à estrutura dental remanescente. As principais características desse conceito incluem: os preparos devem ter a geometria mais simples possível, sem preparo de istmo, espessura uniforme para restauração (mínimo 1,5 a 2 mm), caixas interproximais em forma de “U”, cantos e bordas devem ser evitados, as transições das geometrias do preparo devem ser suaves e também deve-se realizar um bisel oblíquo em esmalte.

Mesmo que tradicionalmente, formas de retenção e estabilidade ainda são recomendadas, um dos modos de falha clínico mais comum em RPI adesivas é o descolamento da restauração (Abduo, Sambrook, 2018). Vale ressaltar que a

integridade da interface adesiva é crítica para a longevidade das restaurações livres de metal, especialmente em restaurações cerâmicas (Politano et al., 2018).

Nas restaurações indiretas, a integridade da interface adesiva pode ser afetada pela contração de polimerização dos cimentos resinosos (Braga et al., 2002), uma vez que a contração volumétrica do cimento pode resultar na formação de *gaps* na interface adesiva (Braga et al., 2002; May, Kelly, 2013). Acrescenta-se que essas tensões também podem impactar negativamente na resistência à fratura de materiais frágeis como as cerâmicas odontológicas, pois geram tensões de tração residuais na superfície interna da restauração durante a contração do cimento (May et al., 2012).

A contração de polimerização pode ser influenciada por diversos fatores que estão intimamente ligados ao desenho do preparo, tais como: fator de configuração da cavidade (Fator C), geometria do preparo, volume do cimento e substrato adesivo (Ausiello et al., 2017; Feilzer et al., 1987; Fu et al., 2020).

Outro fator relacionado aos preparos tradicionais é a sua difícil execução, isso ocorre devido a sua complexidade geométrica. Uma vez que preparos incorretos podem afetar diretamente o sucesso do tratamento (Frankenberger et al., 2009). Desse modo, técnicas mais simplificadas podem ser consideradas promissoras do ponto de vista clínico e operatório. Além disso, foi demonstrado também que complexidade geométrica pode impactar negativamente na exatidão de modelos digitais, independentemente do tipo de escâner (Ashraf et al., 2020; Gurpinar, Tak, 2020; Park et al., 2020; Schmidt et al., 2021).

A exatidão do modelo de trabalho, seja digital ou físico, é uma necessidade fundamental da clínica odontológica (Ashraf et al., 2020). Uma vez que podem evitar restaurações mal-adaptadas, e consequentemente prevenir o desenvolvimento de cárie secundária (Abduo, Elseyoufi, 2018). A exatidão de um modelo físico é dependente de dois fatores: a veracidade que descreve o

quão próximo o modelo é do objeto verdadeiro; e da precisão que consiste no grau de desvio entre medições repetidas (Ahlholm et al., 2018; Güth et al., 2017).

Diante da problemática citada, diversas análises podem ser utilizadas para avaliar a tensão de contração (Braga et al., 2012; Gonçalves et al., 2008; Oliveira et al., 2010; Sakaguchi et al., 1997). No presente estudo, foi utilizado o método de Análise por Elementos Finitos, por meio da analogia térmica (Correia et al., 2020), para avaliar o efeito isolado da geometria do preparo para restaurações parciais de cobertura total aderidas em molar inferior, sendo padronizadas as características de cimento e substrato e a espessura da linha de cimento (Borges et al., 2014).

O presente estudo pretende avaliar aspectos relacionados ao tratamento com *overlays*. Com foco principal no desenho do preparo, e na técnica de obtenção do modelo de trabalho digital.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Preparos para restaurações parciais indiretas são mais complexos e mais difíceis de serem executados do que preparos para coroas totais. Especialmente, por que preparos para coroas totais tem seu aspecto geométrico padronizado, que é definido pelos princípios de retenção e estabilidade. Para as restaurações parciais, a geometria é primeiramente definida pelo limite da cavidade pré-existente (gerado pela cárie, fratura ou restaurações prévias insatisfatórias), e secundariamente pelos princípios gerais clássicos dos preparos protéticos. Esses atributos fazem com que muitos clínicos prefiram realizar preparos mais simples, porém menos conservadores como as coroas totais.

Diante disso, diversos autores tem proposto novos desenhos de preparo a fim de racionalizar e simplificar a forma geométrica dos preparos para restaurações parciais. No entanto, poucos estudos avaliaram o desempenho *in viro* desses conceitos. Desse modo, os estudos dessa tese objetivaram validar os conceitos propostos.

A contração de polimerização ainda é um contraponto para a longevidade das restaurações adesivas, especialmente para as indiretas, devido ao alto fator C e pelo efeito parede-com-parede (*wall-to-wall*) gerado pela contração da película de cimento. O artigo 1 da presente tese demonstrou pelo método de análise por elementos finitos, utilizando a metodologia de analogia térmica, que a complexidade do preparo é diretamente proporcional à magnitude das tensões de contração residual na restauração, película de cimento e estrutura dentária. Uma vez que preparos complexos geram um maior fator C e resultam em uma película com maior volume de cimento.

Um outro achado importante, é que as tensões residuais se concentraram nas regiões de transição geométrica. O que pode ser crítico uma vez que esses

pontos também são regiões de concentração de tensão geradas pela carga mastigatória, e possíveis pontos de ruptura da restauração e/ou interface adesiva.

Novos estudos avaliando o efeito do material do núcleo de preenchimento poderiam elucidar ainda mais no ponto de vista clínico o efeito da contração e do desenho do preparo.

O método de fabricação da restauração pode afetar o ajuste marginal e interno de restaurações indiretas, diante disso, considerando que o aumento da espessura da camada de cimento pode gerar mais tensão de contração residual, mais estudos podem ser necessários para avaliar o impacto do método de fabricação de restaurações associadas a esses desenhos de preparo.

Além do método de fabricação, a precisão e veracidade dos modelos digitais também podem impactar indiretamente nas discrepâncias marginais e internas das restaurações finais.

A odontologia digital está cada vez mais presente na clínica odontológica. A tecnologia já é amplamente utilizada para a manufatura das restaurações através dos sistemas usinagem e das impressoras 3D. Outra tecnologia que tem se mostrado promissora é o escaneamento intraoral. Os fabricantes tem investido em recursos tecnológicos e algoritmos de *software* para tornar esses dispositivos cada vez mais precisos, verdadeiros, rápidos e de fácil utilização.

Diante disso o segundo estudo dessa tese avaliou o efeito da geometria de preparo para restaurações parciais de cobertura total de cúspide na veracidade e precisão de modelos digitais obtidos a partir de três diferentes escâneres intraorais. Foi concluído que preparos mais simplificados geram modelos de trabalho digital mais precisos e verdadeiros o que pode resultar em uma restauração mais bem adaptada. A exatidão do modelo é influenciada pelo dispositivo de escaneamento intraoral, de modo que escâneres mais precisos

podem reduzir o efeito da complexidade da geométrica do preparo. A realização de preparo de istmo e de caixas proximais geométricas geraram maior desvio positivo e negativo para veracidade nas regiões proximal e na caixa oclusal. No entanto, os resultados do presente estudo para exatidão em todos os grupos avaliados se mantiveram na faixa clinicamente aceitável.

Mais estudos podem ser necessários para avaliar a influência dos desenhos de preparo na habilidade e experiência do operador. Além disso, estudos clínicos também são necessários para permitir conclusões clínicas a respeito das premissas avaliadas.

REFERÊNCIAS*

- Abduo J, Elseyoufi M. Accuracy of intraoral scanners: a systematic review of influencing factors. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2018;26(3):101–21. doi: 10.1922/EJPRD_01752Abduo21 PubMed PMID:29989757.
- Abduo J, Sambrook RJ. Longevity of ceramic onlays: A systematic review. *J Esthet Restor Dent*. 2018;30(3):193–215. doi: 10.1111/jerd.12384 PubMed PMID:29676497.
- Ahlers MO, Mörig G, Blunck U, Hajtó J, Pröbster L, Frankenberger R. Guidelines for the preparation of CAD/CAM ceramic inlays and partial crowns. *Int J Comput Dent*. 2009;12(4):309–25. PubMed PMID:20108869.
- Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. Digital versus conventional impressions in fixed prosthodontics: a review. *J Prosthodont*. 2018;27(1):35–41. doi: 10.1111/jopr.12527 PubMed PMID:27483210.
- Arnetz G V, Arnetz G. Biomechanical examination of inlay geometries - Is there a basic biomechanical principle? *Int J Comput Dent*. 2009;12(2):119–30. PubMed PMID:19413268.
- Ashraf Y, Sabet A, Hamdy A, Ebeid K. Influence of preparation type and tooth geometry on the accuracy of different intraoral scanners. *J Prosthodont*. 2020;29(9):800–4. doi: 10.1111/jopr.13202 PubMed PMID:32406156.
- Ausiello P, Ciaramella S, Fabianelli A, Gloria A, Martorelli M, Lanzotti A, et al. Mechanical behavior of bulk direct composite versus block composite and lithium disilicate indirect Class II restorations by CAD-FEM modeling. *Dent Mater*. 2017;33(6):690–701. doi: 10.1016/j.dental.2017.03.014 PubMed PMID:28413061.
- Borges ALS, Borges AB, Xavier TA, Bottino MC, Platt JA. Impact of quantity of resin, c-factor, and geometry on resin composite polymerization shrinkage stress in Class V restorations. *Oper Dent*. 2014;39(2):144–51. doi: 10.2341/12-440-L PubMed PMID:23786611.
- Braga RR, Ferracane JL, Condon JR. Polymerization contraction stress in dual-cure cements and its effect on interfacial integrity of bonded inlays. *J Dent*. 2002;30(7–8):333–40. doi: 10.1016/S0300-5712(02)00047-7 PubMed PMID:12554115.
- Braga RR, Yamamoto T, Tyler K, Boaro LC, Ferracane JL, Swain M V. A comparative study between crack analysis and a mechanical test for assessing

* Baseado em: International Committee of Medical Journal Editors Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical journals: Sample References [Internet]. Bethesda: US NLM; c2003 [cited 2020 Jan 20]. U.S. National Library of Medicine; [about 6 p.]. Available from: http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html

the polymerization stress of restorative composites. *Dent Mater.* 2012;28(6):632–41. doi: 10.1016/j.dental.2012.02.008 PubMed PMID:22480721.

Broderson SP. Complete-crown and partial-coverage tooth preparation designs for bonded cast ceramic restorations. *Quintessence Int.* 1994;25(8):535–9. PubMed PMID:7568700.

Christensen GJ. Considering tooth-colored inlays and onlays versus crowns. *J Am Dent Assoc.* 2008;139(5):617–20. doi: 10.14219/jada.archive.2008.0224 PubMed PMID:18451380.

Christensen GJ. Tooth-colored inlays and onlays. *J Am Dent Assoc.* 1988;117(4):12E-17E. doi: 10.14219/jada.archive.1988.0036 PubMed PMID:3053856.

Clausen J-O, Abou Tara M, Kern M. Dynamic fatigue and fracture resistance of non-retentive all-ceramic full-coverage molar restorations. Influence of ceramic material and preparation design. *Dent Mater.* 2010;26(6):533–8. doi: 10.1016/j.dental.2010.01.011 PubMed PMID:20181388.

Correia A, Bresciani E, Borges A, Pereira D, Maia L, Caneppele T. Do tooth- and cavity-related aspects of noncarious cervical lesions affect the retention of resin composite restorations in adults? a systematic review and meta-analysis. *Oper Dent.* 2020;45(3):E124–40. doi: 10.2341/19-091-L PubMed PMID:32053461.

Dietschi D, Spreafico R. Evidence-based concepts and procedures for bonded inlays and onlays. Part I. Historical perspectives and clinical rationale for a biosubstitutive approach. *Int J Esthet Dent.* 2015;10(2):210–27. PubMed PMID:25874270.

Falahchai M, Babaee Hemmati Y, Neshandar Asli H, Rezaei E. Effect of tooth preparation design on fracture resistance of zirconia-reinforced lithium silicate overlays. *J Prosthodont.* 2020;jopr.13160. doi: 10.1111/jopr.13160 PubMed PMID:32147878.

Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res.* 1987;66(11):1636–9. doi: 10.1177/00220345870660110601 PubMed PMID:10872397.

Felden A, Schmalz G, Hiller K-A. Retrospective clinical study and survival analysis on partial ceramic crowns: results up to 7 years. *Clin Oral Investig.* 2000;4(4):199–205. doi: 10.1007/s007840000082 PubMed PMID:11218489.

Frankenberger R, Reinelt C, Petschelt A, Krämer N. Operator vs. material influence on clinical outcome of bonded ceramic inlays. *Dent Mater.* 2009;25(8):960–8. doi: 10.1016/j.dental.2009.02.002 PubMed PMID:19344946.

Frankenberger R, Taschner M, Garcia-Godoy F, Petschelt A, Krämer N. Leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after 12 years. *J Adhes Dent.* 2008;10(5):393–8. PubMed PMID:19058686.

Fu J, Aregawi WA, Fok ASL. Mechanical manifestation of the C-factor in relation to photopolymerization of dental resin composites. *Dent Mater.* 2020;36(8):1108–14. doi: 10.1016/j.dental.2020.05.004 PubMed PMID:32505539.

Gomes de Carvalho AB, de Andrade GS, Mendes Tribst JP, Grassi EDA, Ausiello P, Saavedra G de SFA, et al. Mechanical behavior of different restorative materials and onlay preparation designs in endodontically treated molars. *Materials.* 2021;14(8):1923. doi: 10.3390/ma14081923 PubMed PMID:33921347.

Gonçalves F, Pfeifer CSC, Meira JBC, Ballester RY, Lima RG, Braga RR. Polymerization stress of resin composites as a function of system compliance. *Dent Mater.* 2008;24(5):645–52. doi: 10.1016/j.dental.2007.06.032 PubMed PMID:17719626.

Guess PC, Schultheis S, Wolkewitz M, Zhang Y, Strub JR. Influence of preparation design and ceramic thicknesses on fracture resistance and failure modes of premolar partial coverage restorations. *J Prosthet Dent.* 2013;110(4):264–73. doi: 10.1016/S0022-3913(13)60374-1 PubMed PMID:24079561.

Gurpinar B, Tak O. Effect of pulp chamber depth on the accuracy of endocrown scans made with different intraoral scanners versus an industrial scanner: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2020. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.08.034 PubMed PMID:33309210.

Güth J-F, Runkel C, Beuer F, Stimmelmayer M, Edelhoff D, Keul C. Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clin Oral Investig.* 2017;21(5):1445–55. doi: 10.1007/s00784-016-1902-4 PubMed PMID:27406138.

Liebenberg WH. Posterior composite resin restorations: operative innovations. *Pract Periodontics Aesthet Dent.* 1996;8(8):769–78; quiz 780. PubMed PMID:9242131.

Magne P. Pascal Magne: “It should not be about aesthetics but tooth-conserving dentistry”. Interview by Ruth Doherty. *Br Dent J*. 2012;213(4):189–91. doi: 10.1038/sj.bdj.2012.769 PubMed PMID:22918368.

Magne P, Belser U. Bonded porcelain restorations in the anterior dentition: a biomimetic approach. 1ed . Chicago: Quintessence Pub. Co; 2002. 406 p. ISBN nº 978-0867154221.

May LG, Kelly JR. Influence of resin cement polymerization shrinkage on stresses in porcelain crowns. *Dent Mater*. 2013;29(10):1073–9. doi: 10.1016/j.dental.2013.07.018 PubMed PMID:23973087.

May LG, Kelly JR, Bottino MA, Hill T. Effects of cement thickness and bonding on the failure loads of CAD/CAM ceramic crowns: Multi-physics FEA modeling and monotonic testing. *Dent Mater*. 2012;28(8):e99–109. doi: 10.1016/j.dental.2012.04.033 PubMed PMID:22595741.

Oliveira LCA, Duarte S, Araujo CA, Abrahão A. Effect of low-elastic modulus liner and base as stress-absorbing layer in composite resin restorations. *Dent Mater*. 2010;26(3):159–69. doi: 10.1016/j.dental.2009.11.076 PubMed PMID:20031198.

Park J-M, Kim RJ-Y, Lee K-W. Comparative reproducibility analysis of 6 intraoral scanners used on complex intracoronal preparations. *J Prosthet Dent*. 2020;123(1):113–20. doi: 10.1016/j.prosdent.2018.10.025 PubMed PMID:31027953.

Politano G, Van Meerbeek B, Peumans M. Nonretentive bonded ceramic partial crowns: concept and simplified protocol for long-lasting dental restorations. *J Adhes Dent*. 2018;20(6):495–510. doi: 10.3290/j.jad.a41630 PubMed PMID:30564796.

Sakaguchi RL, Versluis A, Douglas WH. Analysis of strain gage method for measurement of post-gel shrinkage in resin composites. *Dent Mater*. 1997;13(4):233–9. doi: 10.1016/S0109-5641(97)80034-6 PubMed PMID:11696902.

Schmidt A, Benedickt C, Schlenz M, Rehmann P, Wöstmann B. Accuracy of four different intraoral scanners according to different preparation geometries. *Int J Prosthodont*. 2021. doi: 10.11607/ijp.6233 PubMed PMID:33625402.

Veneziani M. Posterior indirect adhesive restorations: updated indications and the Morphology Driven Preparation Technique. *Int J Esthet Dent*. 2017;12(2):204–30. PubMed PMID:28653051.