



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
DOUTORADO EM ODONTOLOGIA**

SHEYLA KÁTIA LÚCIO DORNELAS

**AVALIAÇÃO DA INTERFACE DE CIMENTAÇÃO DE LAMINADOS
CERÂMICOS POR MEIO DA PERFILOMETRIA E TOMOGRAFIA DE
COERÊNCIA ÓPTICA**

**CAMPINA GRANDE
2019**

SHEYLA KÁTIA LÚCIO DORNELAS

**AVALIAÇÃO DA INTERFACE DE CIMENTAÇÃO DE LAMINADOS
CERÂMICOS POR MEIO DA PERFILOMETRIA E TOMOGRAFIA DE
COERÊNCIA ÓPTICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Estadual da Paraíba como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Odontologia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Patrícia
Meira Bento

**CAMPINA GRANDE
2019**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M386a Martins, Sheyla Kátia Lúcio Dornelas.
Avaliação da interface de cimentação de laminados cerâmicos por meio da Perfilometria e Tomografia de coerência óptica [manuscrito] / Sheyla Kátia Lúcio Dornelas Martins, Ana Marly Araújo Maia. - 2019.
82 p. : il. colorido.
Digitado.
Tese (Doutorado em Odontologia) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2019.
"Orientação : Profa. Dra. Patrícia Meira Bento, Departamento de Odontologia - CCBS."
1. Tomografia de coerência óptica. 2. Materiais dentários.
3. Diagnóstico por imagem. I. Título

21. ed. CDD 617.695

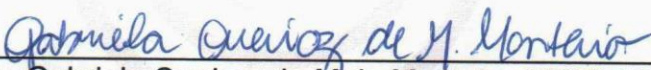
SHEYLA KÁTIA LÚCIO DORNELAS

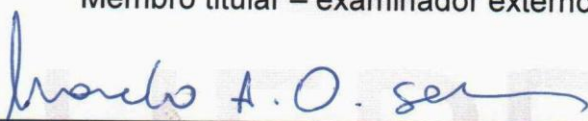
AVALIAÇÃO DA INTERFACE DE CIMENTAÇÃO DE LAMINADOS
CERÂMICOS POR MEIO DA PERFILOMETRIA E TOMOGRAFIA DE
COERÊNCIA ÓPTICA

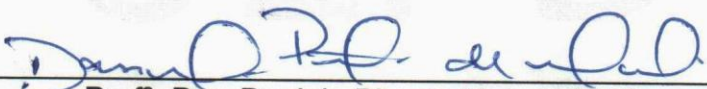
Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Odontologia da
Universidade Estadual da Paraíba
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor em
Odontologia.

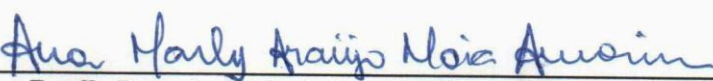
Aprovada em: 29/07/2019

BANCA EXAMINADORA


Prof^ª. Dra. Gabriela Queiroz de Melo Monteiro / FOP-UPE
Membro titular – examinador externo


Prof. Dr. Marcelo Augusto Oliveira de Sales / UFPB
Membro titular – examinador externo


Prof^ª. Dra. Daniela Pita de Melo / UEPB
Membro titular – examinador interno


Prof^ª. Dra. Ana Marly Araújo Maia / UEPB
Membro titular – examinador interno


Prof^ª. Dr^ª. Patrícia Meira Bento / UEPB
Membro titular (Orientador)

Aos meus filhos, pais, irmãos e cunhados, razão de tudo em minha vida, por todos os momentos de felicidade e tristeza, conquistas e dificuldades que compartilhamos juntos, sentindo as mesmas emoções.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

À minha orientadora, professora Dra. Patrícia Meira Bento por caminhar ao meu lado, caminhamos juntas, muitas mudanças aconteceram em minha vida pessoal, porém seu apoio e compreensão me ajudaram a seguir e realizar o sonho de entregar esta Tese. Obrigada por me acolher de braços abertos, pelo convívio amigo, pela confiança em mim depositada e pelos ensinamentos transmitidos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual da Paraíba, a Pós-Graduação de Odontologia e a todos os funcionários agradeço todo o acolhimento durante todos esses anos.

À Coordenação do Programa de Pós Graduação em Odontologia na pessoa da Profa. Daniela Pita e a todos os Professores do Programa meus agradecimento por todos os conhecimentos que me enriqueceram durante todos esses anos.

Aos professores membros da banca pelas contribuições e tempo disponibilizado.

Àos colegas de turma pelos momentos de alegria e companheirismo.

As minhas queridas amigas, professoras da Escola Técnica de Saúde por terem suprido a minha ausência de forma tão dedicada.

Ao Laboratório de Pesquisa em Biomateriais do Núcleo de Estudos e Pesquisas Interdisciplinares em Biomateriais (NEPIBIO) da UFPB.

Ao Laboratório de Fotônica do Departamento de Física da UFPE, e a professora Vanda Sanderana Macêdo Carneiro.

Ao Laboratório Integrado de Biomateriais do Programa de Pós Graduação em Odontologia da UFPB e a técnica do laboratório Patrícia Nêris Andrade.

Ao Laboratório Multiusuário de Pesquisa em Materiais (LMPM), da Faculdade de Odontologia de Pernambuco (FOP) e a professora Dra. Márcia Durão.

Ao Laboratório de Processos Microbianos em Alimentos do Centro de Tecnologia da UFPB, a professora Marciane Magnani e a doutoranda Winnie Alencar Luciano.

*Não importa aonde você parou...
Em que momento da vida você cansou...
O que importa é que sempre é possível e necessário “Recomeçar”
Recomeçar é dar uma chance a si mesmo...
É renovar as esperanças na vida e o mais importante...
Acreditar em você de novo.*

Carlos Drommond de Andrade

RESUMO

Objetivo: Avaliar a degradação da interface de laminados cerâmicos cimentados com diferentes materiais resinosos por meio de perfilometria e tomografia de coerência óptica após ciclagem térmica e erosiva. **Materiais e métodos:** Foi realizado um estudo do tipo experimental laboratorial *in vitro*. As restaurações foram confeccionadas em cerâmica IPS E.max Press (Ivoclar-Vivadent) e cimentadas em blocos de dente bovino (n=20), divididos em dois grupos, conforme o material de cimentação: grupo CR cimento resinoso Variolink Esthetic IC (Ivoclar Vivadent) e grupo RRA resina restauradora Filtek Z 350 XT (3M Espe) sob aquecimento controlado. As amostras foram submetidas a ciclagem térmica de 1000 ciclos, com água a 5°C e 55°C, e ciclagem erosiva com solução gástrica (pH 2,3) por 5 min 3 vezes ao dia, durante 5 dias. A rugosidade e a diferença de altura entre as superfícies foi mensurada por meio de perfilômetro óptico 3D sem contato (Taylor Jobson®, CCI MP, England) e a análise da interface esmalte-cerâmica e da linha de cimentação foi caracterizada por meio do sistema de Tomografia por Coerência Óptica, o Callisto (Thorlabs Inc, Nova Jersey, EUA). As análises foram realizadas logo após a cimentação, a ciclagem térmica e erosiva. Para a comparação da rugosidade superficial e da diferença de altura entre as superfícies o teste de Mann-Whitney e o ANOVA de Friedman. Posteriormente, na análise dos dados de OCT, empregou-se os testes exato de Fisher, Mann-Whitney e Wilcoxon. **Resultados:** Os valores de rugosidade superficial apresentaram tendência de aumento após as ciclagens térmica e erosiva, significativa na região de esmalte, cimento e cerâmica ($p < 0,05$). Diferenças estatisticamente significativas foram observadas entre G1 e G2 em relação à frequência de alterações observadas na região da linha de cimentação ($p < 0,001$). Em todas as amostras do G1, verificou-se espessura de cimento adequada (n = 90; 100,0%) e inadequada em todas do G2 (n = 90; 100,0%). Na região de interface o valor de W (largura) apresentou diferença estatisticamente significativa entre G1 e G2 tanto em T0 ($p = 0,002$) como em T2 ($p = 0,022$), e o valor de h (altura) mostrou diferença estatisticamente significativa entre G1 e G2 em T2 ($p = 0,006$). Houve aumento estatisticamente significativo no tamanho dos defeitos na interface intragrupo entre T0 e T2.

Diferenças estatisticamente significativas foram observadas entre G1 e G2 em relação à frequência de alterações observadas na região da interface ($p < 0,001$). No G1, a maioria das amostras não apresentava alterações na região de interface em T0 ($n = 31$; 34,4%), em T2, metade das amostras tinha alteração do tipo batente ($n = 45$; 50,0%). No G2, a maioria das amostras tinha algum tipo de alteração principalmente do tipo cimento exposto em T0 ($n = 49$; 54,4%). **Conclusão:** Os defeitos na interface se acentuaram após o desafio erosivo para os 2 grupos. A resina restauradora aquecida não se mostrou adequada para a cimentação de laminados cerâmicos. A OCT é um excelente método de avaliação de interface de laminados cerâmicos.

Palavras-chaves: Tomografia de coerência óptica; Materiais dentários; Diagnóstico por imagem.

ABSTRACT

Objective: Evaluate the interface of porcelain veneers bonded with different resin cements using profilometry and optical coherence tomography after thermal and erosive cycling. **Materials and Methods:** An in vitro laboratory experiment was conducted. Restorations were performed on IPS e.Max (Ivoclar-Vivadent) and bonded to 20 blocks of bovine enamel divided into two groups according to the bonding material: CR – Variolink Esthetic IC resin cement (Ivoclar Vivadent); RRA – Filtek Z 350 XT restoring resin (3M Espe) with controlled heating. The samples were submitted to thermal cycling (1000 cycles) with water at 5 and 55°C and erosive cycling with a gastric solution (pH 2.3) for 5 min three times per day for five days. Roughness and height difference between surfaces were measured using a 3D optical profilometer (Taylor Jobson®, CCI MP, England). The analysis of the enamel-ceramic interface and cement line was performed using the Callisto optical coherence tomography system (Thorlabs Inc, New Jersey, USA). Analyses were performed immediately after bonding (T0), thermal cycling (T1) and erosive cycling (T2). **Results:** Surface roughness tended to increase after thermal and erosive cycling, with significant roughness in the region of the enamel, resin and ceramic ($p < 0.05$). Significant differences were found between CR and RRA regarding the frequency of changes in the region of the cement line ($p < 0.001$). Adequate cement thickness was found in all CR specimens ($n = 90$; 100.0%) and inadequate cement thickness was found in all RRA specimens ($n = 90$; 100.0%). In the interface region, a significant difference in width was found between CR and RRA at both T0 ($p = 0.002$) and T2 ($p = 0.022$) and a significant difference in height was found between groups at T2 ($p = 0.006$). In the intragroup analysis, a significant increase in the size of the defects at the interface was found between T0 and T2. Significant differences were also found between CR and RRA regarding the frequency of changes in the interface region ($p < 0.001$). In CR, the majority of specimens had no alterations in the interface region at T0 ($n = 31$; 34.4%), whereas half of the samples had alterations at T2 ($n = 45$; 50.0%). In RRA, the majority of samples had some type of alteration at T0 ($n = 49$; 54.4%), mainly exposed cement. **Conclusion:** Defects at the interface were accentuated after the erosive challenge in both

groups. The heated resin proved not to be adequate for bonding porcelain veneers. Optical coherence tomography is an excellent method for evaluating the interface of porcelain veneers.

Key words: optical coherence tomography; dental materials; diagnostic imaging

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 01	Característica do material: nome comercial, fabricante e composição dos materiais utilizados no estudo	26
Quadro 02	Categorização de alterações observadas na região da interface através da análise por OCT	32
Quadro 03	Categorização de alterações observadas na região da linha de cimentação através da análise por OCT	33
Figura 01	Fluxograma da fase experimental.....	21
Figura 02	Preparo dos blocos de dente bovino	23
Figura 03	Sequencia laboratorial para confecção do laminado.....	24
Figura 04	Grupos experimentais	25
Figura 05	Sequencia para cimentação do laminado (grupo CR).....	26
Figura 06	Ciclagem erosiva dos espécimes.....	27
Figura 07	Imagem topográfica da área escaneada e gráfico da linha do esmalte correspondente a linha horizontal hachurada na parte superior da imagem.	29
Figura 08	Imagem topográfica da área escaneada e gráfico com mensuração da diferença de altura esmalte-cerâmica correspondente a linha hachurada vertical no centro da imagem.....	29
Figura 09	Amostra posicionada na plataforma do OCT, iniciando a captura das imagens posicionando a luz guia no centro da fenda feita em esmalte.....	31
Figura 10	Representação dos pontos medidos na linha de cimentação dos laminados.....	34
Figura 11	Mensuração de alteração na interface esmalte-cerâmica através do programa ImageJ, onde W corresponde a largura e h a altura.....	34

ARTIGO

Quadro 01	Categorização de alterações observadas na região da interface de união através da análise por OCT	42
Quadro 02	Categorização de alterações observadas na região da linha de cimentação através da análise por OCT.....	43
Figura 01	Grupo CR em T0- A: Imagem da interface por perfilômetro; B: Gráfico destacando o vale mais baixo da interface; C: Imagem da interface por OCT, mostrando falha tipo datente batente	49
Figura 02	Grupo CR em T2 - A: Imagem da interface por perfilômetro; B: Gráfico destacando o vale mais baixo da interface; C: Imagem da interface por OCT, mostrando falha tipo datente batente	49
Figura 03	Grupo RRA em T0- A: Imagem da interface por perfilômetro; B: Gráfico com destaque na linha de cimentação; C: Imagem da interface por OCT, mostrando falha tipo cimento exposto	50
Figura 04	Grupo RRA em T2- A: Imagem da interface por perfilômetro; B: Gráfico com destaque para o vale mais baixo da interface pós erosão; C: Imagem da interface por OCT, mostrando falha tipo batente.	50

LISTA DE TABELAS – ARTIGO

Tabela 01	Rugosidade superficial de acordo com os grupos e tempos avaliados	44
Tabela 02	Análise comparativa da diferença de altura entre os substratos de acordo com os grupos e tempos avaliados.....	45
Tabela 03	Frequência de alterações observadas na região da linha de cimentação de acordo com os grupos e tempos avaliados.....	46
Tabela 04	Frequência de alterações observadas na região de interface de acordo com os grupos e tempos avaliados	48
Tabela 05	Mensuração (μm) da linha de cimentação entre os grupos experimentais.....	51
Tabela 06	Mensuração (μm) das falhas da interface de união entre os grupos experimentais.....	51

LISTA DE ABREVIATURA, SIGLAS E SÍMBOLOS

Al ₂ O	– Óxido de alumínio
Bis	– GMA (Bisfenol A diglicidil éter dimetacrilato)
cm ²	– Centímetro quadrado
FOP	– Faculdade de Odontologia de Pernambuco
g	– Grama
h	– hora
HCl	– Ácido Clorídrico
HEMA	– 2-Hidroxietilmetacrilato
IIQ	– Intervavo interquartil
K ₂ O	– Óxido de potássio
KHz	– Quilo-hertz
l	– Litro
La ₂ O ₃	– Óxido de latânio
LED	– Diodo emissor de luz
Li ₂ O	– Óxido de lítio
Me	– mediana
MgO	– Óxido de magnésio
ml	– mililitro
mm	– Milímetro
Mol	– Molaridade
Mw	– Megawatt
NEPIBIO	– Núcleo de Estudos e Pesquisas Interdisciplinares em Biomateriais
nm	– nanômetro
OCT	– Tomografia de coerência óptica
P ₂ O ₅	– Óxido de fósforo
pH	– Potencial Hidrogeniônico
Psi	– Libras por polegada quadrada absoluta
Ra	– Rugosidade superficial
s	– segundo
SiO ₂	– Dióxido de silício
TEG	– DMA – dimetacrilato de trietileno glicol
UEPB	– Universidade Estadual da Paraíba
UFPE	– Universidade Federal de Pernambuco
UFPB	– Universidade Federal da Paraíba
ZnO	– Óxido de zinco
°C	– Grau Celsius
µm	– Micrômetro

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
2	OBJETIVOS	20
2.1	Objetivo geral	20
2.2	Objetivos específicos	20
3	METODOLOGIA.....	21
3.1	Delineamento do estudo	21
3.2	Fluxograma da fase experimental.....	21
3.3	Local do estudo	21
3.4	Seleção dos dentes	22
3.5	Confecção dos espécimes	22
3.5.1	Preparo dos dentes.....	22
3.5.2	Confecção dos laminados cerâmicos	23
3.6	Grupos experimentais	24
3.7	Ciclagem térmica dos espécimes	27
3.8	Ciclagem erosiva dos espécimes	27
3.9	Análise por perfilometria	28
3.10	Análise por Tomográfica por Coerência Óptica (OCT).....	30
3.11	Tabulação e análise estatística dos dados	35
4	RESULTADOS	36
4.1	ARTIGO	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
	REFERÊNCIAIS	64
	ANEXO A - NORMAS DE PUBLICAÇÃO DO PERIÓDICO CLINICAL	
	ORAL INVESTIGATION.....	68

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os materiais odontológicos ficam expostos ao meio bucal hostil onde encontramos a combinação de: exposição ao meio aquoso (degradação hidrolítica), exposição a microorganismos, alteração da temperatura bucal hábitos alimentares e aplicações variadas de carga decorrentes da mastigação e/ou parafunção (BRENDEKE; OZCAN, 2007; HUANG et al., 2018). Estão susceptíveis à influência de substâncias ácidas, seja de origem intrínseca ou extrínseca (WEST; JOINER, 2014). Como fatores intrínsecos podemos referir o suco gástrico que entra em contacto com os dentes através do vômito, regurgitação ou refluxo gastroesofágico (MOAZZEZ; BARTLETT, 2014)

A erosão dentária resulta em maior rugosidade das estruturas dentárias e dos materiais restauradores e conseqüentemente à colonização mais rápida e maturação do biofilme, aumentando o risco de desenvolvimento de cárie e doença periodontal. Portanto, à região de interface dente/restauração fica susceptível pigmentação marginal, desmineralização com perda de estrutura e infiltração interfacial (BAGHERI; BURROW; TYAS, 2005).

As restaurações indiretas confeccionadas em porcelana, para o tratamento de lesões cariosas e não cariosas, promovem estética superior quando comparadas aos compósitos e podem proporcionar alta resistência e estabilidade de cor aos dentes restaurados, desde que estejam adequadamente unidas à estrutura dental, representam uma interessante alternativa de tratamento em casos nos quais o fator estético é preponderante e condicional para o sucesso clínico (AMOROSO *et al.*, 2012; SKUPIEN *et al.*, 2015).

Os cimentos resinosos fotopolimerizáveis são materiais de eleição para cimentação de facetas cerâmicas (DIKSHIT *et al.*, 2015) e têm a função de preencher a interface da superfície interna da restauração indireta e a do dente preparado, conferindo retenção e resistência à restauração e ao remanescente dentário, promovendo o selamento marginal e favorecendo a longevidade das restaurações (FERREIRA, 2012). Como todo compósito resinoso, em meio aquoso são expostos a um processo de envelhecimento a longo prazo, que pode reduzir suas propriedades mecânicas devido a lixiviação de componentes não reagidos e a degradação da rede polimérica (BLUMER *et al.*, 2015; BÜRGIN; ROHR; FISCHER, 2017).

As resinas compostas restauradoras têm sido indicadas para a cimentação de laminados cerâmicos por apresentarem maior concentração de partículas de carga e conseqüentemente, melhores propriedades mecânicas (RICKMAN; PADIPATVUTHIKUL; CHEE, 2011; PRIETO *et al.*, 2011; BAROUDI K; MAHMOUD 2015; TAUBÖCK *et al.*, 2015), como à resistência da degradação oral (AYUB *et al.*, 2014; RICKMAN; PADIPATVUTHIKUL; CHEE, 2011). Entretanto, para alcançar a viscosidade ideal, as mesmas passam por um processo de fluidificação através de um aquecimento entre 54-68°C (RICKMAN; PADIPATVUTHIKUL; CHEE, 2011).

D'Arcangelo *et al.* (2012) avaliaram, 119 facetas de porcelana cimentadas com resina restauradora aquecida à 39°C, quanto a ausência de cárie secundária, adaptação marginal, descoloração marginal e alteração de cor, facetas de porcelana cimentadas com resina restauradora aquecida após 7 anos de uso, e verificaram que as restaurações tiveram um bom desempenho clínico, com apenas 15,96% de falhas.

Albuquerque Guedes *et al.* (2018) avaliaram o efeito de soluções ácidas (AS) na rugosidade superficial (Ra) utilizando perfilometria e na microdureza de 3 materiais restauradores: Ketac Nano (KN), Ketac Nano + Biscover LV (KN-B), Esthet-X (EX), Esthet-X+Biscover LV (EX-B), Supreme XT (SXT), Supreme XT + Biscover LV (SXT-B) e esmalte bovino. As amostras foram submetidas a solução de ácido clorídrico 0,01 M pH 2.0 e a refrigerante (SD) (Sprite®, Coca-Cola, Ribeirão Preto, SP), pH 3,6 por 10 min e três vezes ao dia durante 14 dias. As substâncias ácidas foram capaz de mudar o valor de Ra e a microdureza dos materiais, exceto aqueles protegidos com o selante Biscover LV. O cimento de ionômero de vidro KN apresentou os maiores valores de Ra, em contrapartida, as resinas compostas se mostraram um pouco mais estáveis frente às condições experimentais.

Turkistani *et al.* (2015) avaliaram a formação de gaps em restaurações de resina submetidas a um desafio ácido com gel desmineralizante (Ph 4,5) durante 5 semanas. A desmineralização resultou em lesões cavitadas que foram claramente identificadas pela Tomografia por Coerência Óptica (OCT).

Como método clínico e laboratorial para análise da interface dente restauração, a Tomografia por Coerência Óptica (OCT) é capaz de gerar imagens de secção transversal em alta resolução da microestrutura interna de

materiais e sistemas biológicos, e consiste em uma excelente técnica para visualização estrutural e marginal de estruturas, sem a necessidade de seccionar as amostras a serem estudadas (MOTA, 2013).

O potencial da Tomografia por Coerência Óptica tem se ampliado na Odontologia. Vários estudos relataram que a OCT pode ser utilizada para o acesso da profundidade e severidade de lesões cáries (MAIA *et al.*, 2015), para avaliar os processos de desmineralização causados por biofilme (FREITAS *et al.*, 2009) e para observar as paredes e a infiltração marginal de cimentos endodônticos em canais radiculares (SUASSUNA *et al.*, 2018).

A interface de restaurações dentárias diretas e indiretas de resina foi investigada por meio dessa técnica (BAKSHSH *et al.*, 2011; ISHIBASHI *et al.*, 2011; MAKISHI *et al.*, 2011; MONTEIRO *et al.*, 2011; TURKISTANI *et al.*, 2014; BORGES *et al.*, 2015; BORTOLOTTI *et al.*, 2015; MAKISHI; THITTHAWEEERAT; SADR, 2015; MOTA *et al.*, 2015; PARK; SCHNEIDER, HAAK, 2015; TURKISTANI *et al.*, 2015; HAN, *et al.*, 2016) no entanto, poucos dados foram registrados na avaliação do gap marginal (MG) de coroas cerâmicas (GABOR *et al.*, 2016; WENHAO; JINGMING; ZHENTING, 2018).

OCT pode ser considerada um método de diagnóstico precoce de falhas contidas na estrutura interna das coroas cerâmicas antes de inseri-las na cavidade bucal, reduzindo os riscos de insucesso em um tratamento protético (DUMA *et al.*, 2019) e também um método eficaz e promissor para avaliação clínica da linha de cimentação em laminados cerâmicos (FERNANDES *et al.*, 2016). Park; Hämmerle; Benic (2017) descreveram uma técnica totalmente digital para a avaliação *in vivo* do ajuste marginal de próteses fixas, por meio de um scanner óptico, podendo ser usada na determinação de seu desempenho clínico à longo prazo.

Considerando a interface de união fundamental para a longevidade clínica de restaurações cerâmicas, e buscando conhecer melhor o comportamento da resina restauradora aquecida utilizada para cimentação de laminados cerâmicos, propomos nesta pesquisa avaliar a interface de união e a linha de cimentação de laminados cerâmicos após ciclagens térmica e erosiva por meio da perfilometria e tomografia de coerência óptica (OCT). A hipótese testada é que não haverá diferenças significantes entre os agentes de

cimentação, na degradação da interface de união e na linha de cimentação de laminados cerâmicos, após ciclagem térmica e erosiva.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influencia do agente de cimentação na degradação da interface de união e linha de cimentação de laminados cerâmicos por meio da perfilometria e tomografia de coerência óptica (OCT).

2.2 Objetivos específicos

- Detectar por perfilometria óptica, a rugosidade superficial do esmalte, da cerâmica e do agente de cimentação após a cimentação, ciclagem térmica e ciclagem erosiva;
- Delimitar por perfilometria óptica a diferença de altura (batente) entre o substrato e o agente cimentante, após a cimentação, ciclagem térmica e ciclagem erosiva;
- Analisar por tomografia de coerência óptica a interface de união e a linha de cimentação dos laminados cerâmicos após a cimentação, ciclagem térmica e ciclagem erosiva;
- Relacionar os achados quanto à condição da interface de união e da linha de cimentação após as ciclagens térmica e erosiva.

3 METODOLOGIA

3.1 Delineamento do estudo

Foi realizado um estudo do tipo experimental laboratorial *in vitro*, com procedimento estatístico e comparativo, através de uma técnica de documentação direta em laboratório (LAKATOS; MARCONI, 2010).

3.2 Fluxograma da fase experimental

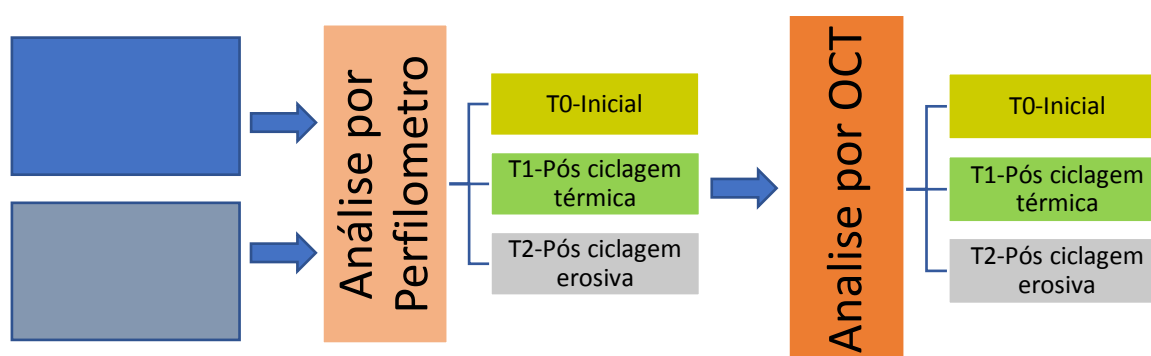


Figura 01: Fluxograma das etapas experimentais.

3.3 Local do estudo

Este estudo foi realizado nos laboratórios especificados abaixo:

- Laboratório de Prótese Dentária da Escola Técnica de Saúde da UFPB;
- Laboratório de Pesquisa em Biomateriais do Núcleo de Estudos e Pesquisas Interdisciplinares em Biomateriais (NEPIBIO) da UFPB;
- Laboratório Multiusuário de Pesquisa em Materiais (LMPM), da Faculdade de Odontologia de Pernambuco (FOP);
- Laboratório de Fotônica do Departamento de Física da UFPE;
- Laboratório Integrado de Biomateriais do Programa de Pós Graduação em Odontologia da UFPB;
- Laboratório de Processos Microbianos em Alimentos do Centro de Tecnologia da UFPB;
- Laboratório LAPD, de iniciativa privada.

3.4 Seleção dos dentes

Foram utilizados, um total de vinte incisivos bovinos, doados de abatedouros públicos, livres de manchas, trincas, rachaduras, grandes desgastes e outros defeitos visíveis sob uma lupa em uma ampliação de 4X. Os incisivos bovinos são utilizados de forma a substituir o uso de dentes humanos nos trabalhos de pesquisa científica devido a composição química do esmalte bovino ser muito semelhante ao esmalte humano, o que favorece semelhanças nas suas propriedades físico-químicas (WANG *et al.*, 2012).

Os dentes foram inicialmente limpos com curetas periodontais (Duflex 55G/SS, White Artigos Dentários Ltda, Rio de Janeiro, RJ, Brasil), de forma que todo e qualquer resíduo de tecido gengival aderido à superfície do dente bovino fosse removido. Após este processo, os dentes foram armazenados em cloramina tri-hidratada 0,5% durante uma semana, sendo depois mudados para água destilada, que foi semanalmente mudada até o processo de corte, obtenção dos espécimes e início do estudo.

3.5 Confeção dos espécimes

3.5.1 Preparo dos dentes

Para a preparação das amostras, os dentes foram seccionados na junção amelocementária e as coroas foram polidas, em politriz (ERIOS – 27000, São Paulo, SP, Brasil), com lixa de carbetto de silício com granulações de # 600 para regularização da superfície, em seguida poliu-se com a lixa de granulação #1200 por dois minutos. Em seguida, foram seccionados na junção amelocementária com disco diamantado de dupla face nº 7016 (KG Sorensen, Cotia, São Paulo, Brasil) acoplados em peça de mão, visando obter blocos de 8 mm x 6 mm a partir da área plana da superfície vestibular da coroa do dente (Figura 02). Cada espécime foi numerado na sua face inferior utilizando broca esférica diamantada acoplada em turbina de alta rotação.

Os preparos cavitários foram executados totalmente em esmalte, nos 2mm inferiores do retângulo, indo da borda lateral direita até 1mm da borda lateral esquerda, resultando em cavidades com dimensões de

aproximadamente 6 mm x 2 mm de largura e altura, e 0,5 mm de profundidade (Figura 02). Utilizou-se inicialmente uma ponta diamantada em forma de roda nº 4142 (KG Sorensen, Cotia, São Paulo, Brasil) acoplada em turbina de alta rotação com refrigeração (Dabi Atlantes, Ribeirão Preto, SP, Brasil) para delimitar a profundidade de 0,5mm e finalizou-se com broca cônica de extremidade arredondada nº 3100 (KG Sorensen, Cotia, São Paulo, Brasil). Os preparos polidos com pasta de pedra-pomes e taça de borracha acoplada em peça reta seguido por pasta diamantada e feltro também acoplado em peça reta. Ao final as amostras foram levadas a uma cuba ultrassônica contendo água destilada por 10 minutos, para eliminação dos resíduos da superfície de esmalte.

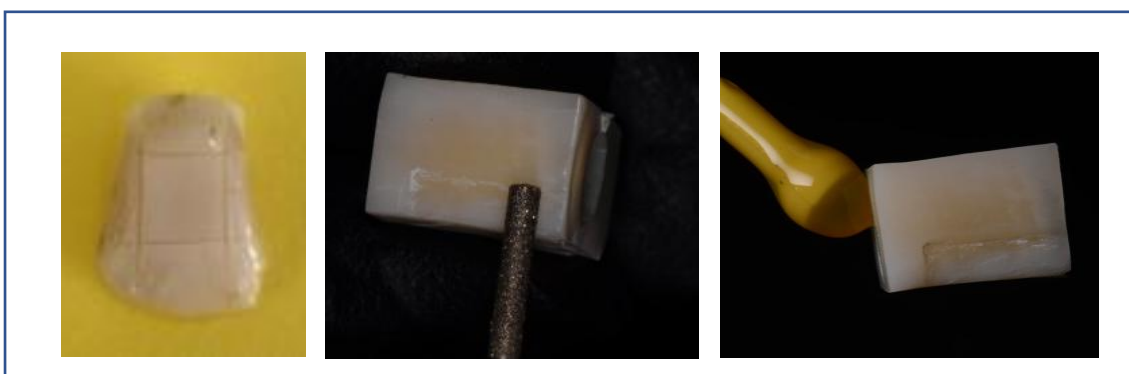


Figura 02 - Preparo dos blocos de dente bovino (Fonte: Dados da pesquisa, 2019)

3.5.2 Confeção dos laminados cerâmicos

Os laminados foram confeccionados em cerâmica vítrea de dissilicato de lítio, IPS e.max Press (Ivoclar Vivadent, AG; Shaan, Liechtentein), na cor HT A1, com espessura de 0,5mm, através da técnica de injeção. O enceramento dos laminados foi realizado diretamente sobre cada preparo utilizando cera Crowax para escultura (Renfert GMBH, USA), que por ser orgânica não deixa resíduos após sua eliminação. Os padrões encerados foram incluídos em revestimento IPS PRESSVEST (Ivoclar Vivadent, AG; Shaan, Liechtenstein) para posterior procedimento de injeção das pastilhas de cerâmica (figura 03).

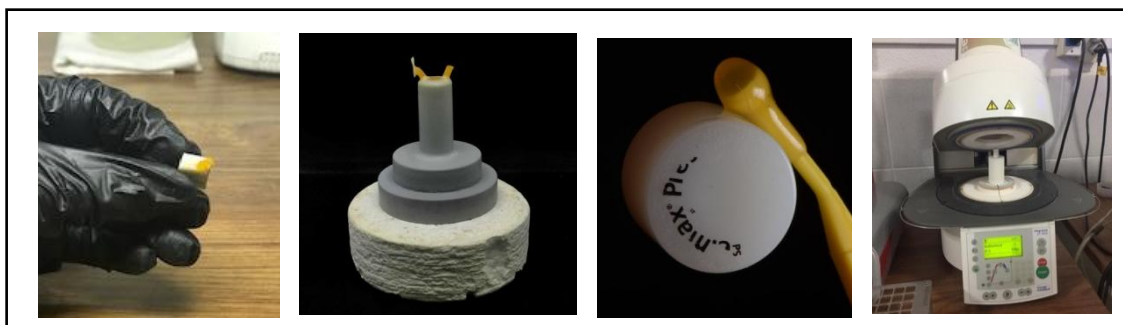


Figura 03. Sequencia laboratorial para confecção do laminado. (Fonte: Dados da pesquisa, 2019)

Concluído o ciclo de injeção colocou-se o anel de revestimento para esfriar sobre uma grade de esfriamento em local protegido de corrente de ar para não acelerar o seu resfriamento. Após a eliminação do revestimento, a camada de reação, que é formada durante o procedimento de injeção, foi removida, usando IPS e.max Press Invex Liquid (Ivoclar Vivadent ,AG; Shaan,Liechtenstein), seguido de jateamento usando óxido de alumínio de 150 Microns com 1-2 bar (15–30 psi) de pressão. Os sprues foram cortados com um disco diamantado, a adaptação de cada laminado cerâmico foi conferida no bloco de dente bovino. O acabamento e o polimento da superfície cerâmica foram realizados com kit de pontas de borracha Edenta (Labordental, São Paulo,Brasil).

3.6 Grupos experimentais

A amostra foi dividida em 2 grupos de acordo com o compósito utilizado para cimentação (Figura 04): Grupo CR constituído por 10 espécimes cimentados com cimento resinoso Variolink Esthetic LC e Grupo RRA com 10 espécimes cimentados com resina restauradora aquecida Filtek Z 350 XT.

Quadro 01: Característica do material: nome comercial, fabricante e composição dos materiais utilizados no estudo.

NOME COMERCIAL	FABRICANTE	COMPOSIÇÃO
IPS e.max Press	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein	SiO ₂ , Li ₂ O, MgO, Al ₂ O ₃ , ZnO, La ₂ O ₃ , K ₂ O, P ₂ O ₅ .
Adper Single Bond 2 [®]	3M ESPE, St. Paul, MN, USA	Álcool etílico, BISGMA, silano tratado com silano (nanofiller), HEMA (2-Hidroxietilmetacrilato), copolímero de ácidos acrílico e itacônico, 1,3-dimetacrilato de glicerol, água, UDMA, hexafluorofosfato de difenilodônio, EDMAB(etil-4-dimetilaminobenzoato)
Variolink Esthetic LCCor light	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein..	Bis-GMA (Bisfenol A diglicidil éter dimetacrilato), dimetacrilato de uretano, dimetacrilato de trietilenoglicol, vidro de bário, trifluoreto de itérbio, vidro de Ba-Al-fluorossilicato, óxido misto esferoide. O tamanho de partícula é de 0,04-0,2 µm. O tamanho médio de partícula é de 0,1 µm. O volume total de cargas inorgânicas é de aprox. 38%.
Filtek Z 350 XTCor EA2	3M ESPE, St. Paul, MN, USA	Cerâmica silanizada tratada, Sílica tratada de silano, Diuretano dimetacrilato (UDMA), Bisfenol A polietileno glicol diéter dimetacrilato, Bisfenol A diglicidil éter dimetacrilato (BisGMA), Cerâmica de zircônia, superfície modificada com 3-metacriloxipropiltrimetoxisilano, Polietilenoglicol dimetacrilato, Dimetacrilato de trietileno glicol.

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

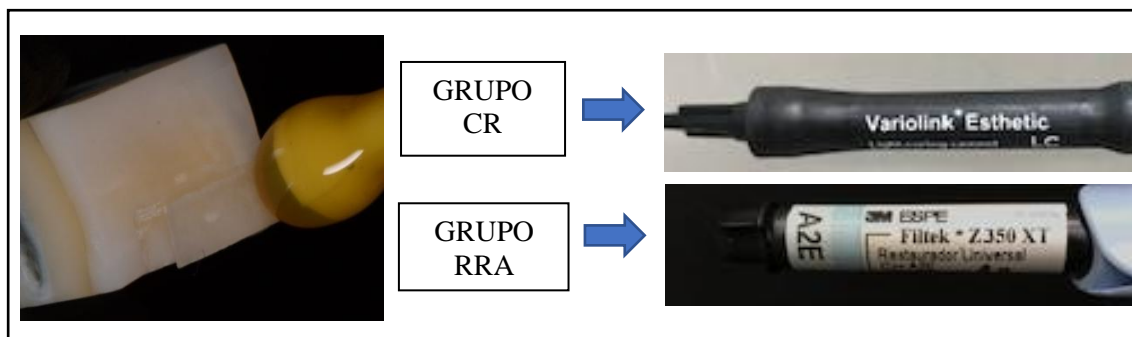


Figura 04 - Grupos experimentais (Fonte: Dados da pesquisa, 2019)

Para cimentação dos laminados, a superfície do esmalte foi condicionada com ácido fosfórico 37% por 30 segundos, lavada abundantemente e secada com jato de ar. O adesivo Adper Single Bond 2 (3M

ESPE, St. Paul, MN, EUA), foi aplicado com o pincel saturado com o material, de forma ativa sobre a superfície do esmalte por 15 segundos, em seguida secou-se com leve jato de ar para evaporação do solvente e fotoativou-se por 10 segundos.

Na superfície interna dos laminados de cerâmica, foi aplicado ácido hidrófluídrico 5% por 20 segundos, lavada com jato de água por 20 segundos, seca com jato de ar por 5 segundos e aplicado o silano por 1 minuto seguido por forte jato de ar.

Para cimentação das amostras do grupo CR o cimento resinoso Variolink Esthetic LC foi aplicado sobre o bloco de dente preparado e o laminado cerâmico posicionado e pressionado contra as paredes da cavidade. Uma agulha tipo Gilmore de 450 g \pm 0,5 g e ponta ativa de 3,0 mm \pm 0,1 mm de diâmetro foi cuidadosa e verticalmente colocada sobre o centro da superfície do laminado para padronizar a força de assentamento e escoamento do cimento, seguido pela remoção dos excessos com microbrush e fotoativação por 20 segundos. Para a fotoativação foi utilizado o aparelho de fotoativação LED (Valo Cordless , Ultradent, South Jordan, UT, USA) que apresenta banda de emissão entre 395-480nm, utilizado em modo de irradiância constante de 1000 mW/cm²: (Figura 05).

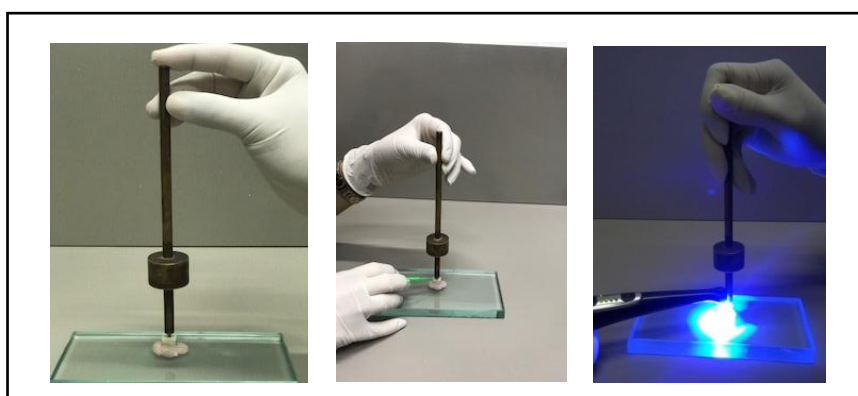


Figura 05. Sequencia para cimentação do laminado (grupo CR).
(Fonte: Dados da pesquisa, 2019)

Para cimentação das amostras do grupo RRA a resina restauradora nanoparticulada Filtek Z350 XT foi submetida a tratamento térmico antes da sua fotopolimerização sendo mantida em estufa bacteriológica digital (Lucadema 81/42, São José do Rio Preto < SP, Brasil) à uma temperatura de

60°C durante 30 min. O material foi removido da estufa, a sua temperatura controlada por um termômetro digital tipo espeto (Modelo TE-500 Instrutherm, São Paulo, SP, Brasil) e aplicada sobre a superfície do esmalte utilizando uma espátula de inserção, também aquecida a uma temperatura de 50°C. Em seguida o laminado foi posicionado e pressionado contra as paredes da cavidade, uma agulha tipo Gilmore de 450 g \pm 0,5 g e ponta ativa de 3,0 mm \pm 0,1 mm de diâmetro foi cuidadosa e verticalmente colocada sobre o centro da superfície do laminado de cerâmica para padronizar a força de assentamento e escoamento da resina seguido pela remoção dos excessos com espatula de inserção e fotoativação por 40 segundos realizada com o mesmo aparelho LED.

3.7 Ciclagem térmica dos espécimes

As amostras de cada grupo (n=10) foram submetidas a envelhecimento artificial, em uma cicladora térmica (Odeme Dental Research, Luzerna SC, Brasil) com água a 5°C e 55°C, por 1000 ciclos, com 15s de tempo de banho em cada temperatura e 20s de tempo de transferência entre os banhos.

3.8 Ciclagem erosiva dos espécimes

Após a ciclagem térmica, todos os espécimes foram submetidos a ciclagem erosiva por 5 dias. A ciclagem erosiva foi realizada por imersão dos espécimes em 25 ml de solução ácida simulando suco gástrico (pH 2,3), constituída por ácido clorídrico (0,01 Mol) e pepsina (0,05ml/mlHCl) durante 5 min, foi utilizada pepsina de mucosa gátrica de suíno (P7000 SIGMA-ALDRICH Co. St Luis, USA). Após o ataque erosivo, os espécimes foram lavados com água desionizada por aproximadamente 20s imersos em saliva artificial por 2 horas. Este procedimento foi repetido 3 vezes por dia. No final de cada dia de ciclo, os espécimes foram imersos em saliva artificial durante 18 horas a 25°C em estufa biológica (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Após cada ciclo de erosão, os espécimes foram sujeitos a um processo de remineralização por ação de saliva artificial. Este processo visa simular as condições intraorais reais, quando da queda do pH, tal como sugere Aykut-

Yetkiner *et al.* (2013). Foi usada saliva artificial (pH 7.0) manipulada pela Dilecta Farmácia de Manipulação e Homeopatia, produzida em duas etapas. Etapa 1: Cloreto de sódio 0,865%, Cloreto de potássio 0,625%, Cloreto de magnésio 0.0558%, Cloreto de cálcio 0,1662%, Água destilada 98,288%; etapa 2: Sorbitol 42,74%, Fosfato ácido de potássio 1,1295%, Fluoreto de sódio 0,0043%, Benzoato de sódio 1%, Água destilada 55,1262%.



Figura 06: Ciclagem erosiva dos espécimes.

3.9 Análise por perfilometria

Os espécimes foram submetidos à avaliação da rugosidade (R_a , μm) do esmalte, da cerâmica e do material de cimentação e à avaliação da interface de união, em um perfilômetro óptico (Taylor Jobson®, CCI MP, England) com objetiva de 20x, área lida de 0.86x0.86mm e resolução de 256x256 pixel, abertura numérica de 0,4 e velocidade de varredura 1x, no modo “Z”.

A imagem tridimensional formada resulta de um grande número de perfis calculado ao longo da área ou superfície selecionada, gerando uma imagem em 3D, que são dados obtidos e registrados como uma distribuição de alturas (picos e vales). O equipamento possui software específicos, que permitem a visualização topográfica das superfícies em imagens 3D, com parâmetros matemáticos para identificar as propriedades superficiais das amostras (rugosidade superficial), possibilitando imagens do perfil (perfilometria) em áreas preestabelecidas e não somente por meio de medidas lineares.

Para mensuração da rugosidade superficial (R_a) do esmalte (Figura 07), da cerâmica e do agente de cimentação, foram realizados dois escaneamentos para cada corpo de prova, o primeiro na área central marcada por uma fenda feita na região do esmalte, e o segundo de acordo com a movimentação da lente 1 mm para direita. A partir dos valores obtidos foi retirada a média de R_a do esmalte, da cerâmica e do agente de cimentação de cada corpo, expressa em micrômetros (μm). A análise foi realizada após a cimentação dos laminados (T0), após a ciclagem térmica (T1) e após a ciclagem erosiva (T2).

A diferença de altura entre a superfície dos substratos em T0, T1 e T2 também foi registrada em micrômetros (μm) (Figura 08). Todas as análises das imagens foram feitas utilizando o software MountainsMap® Imagin Topography, versão 7.4.8872, 2019/04/17.

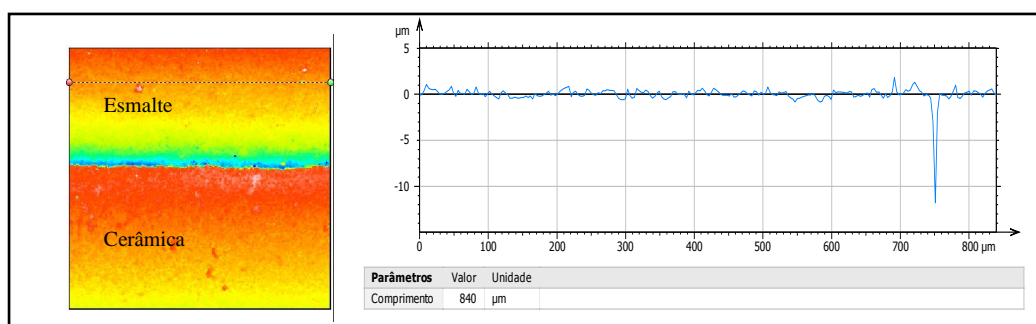


Figura 07 - Imagem topográfica da área escaneada e gráfico da linha do esmalte correspondente a linha horizontal hachurada na parte superior da imagem (Fonte: Dados da pesquisa, 2019)

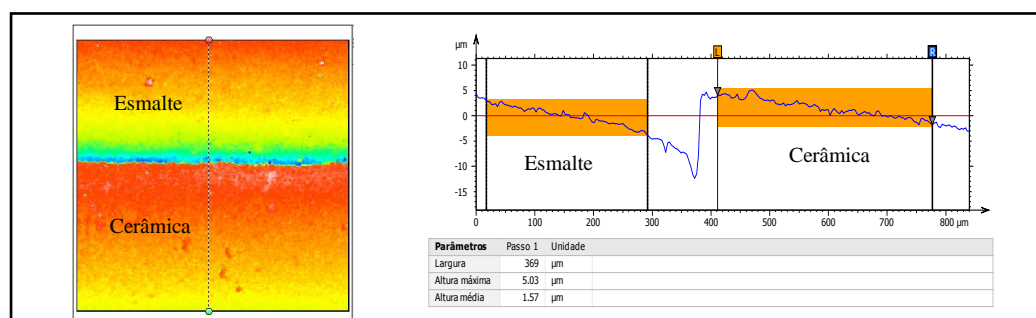


Figura 08 - Imagem topográfica da área escaneada e gráfico com mensuração da diferença de altura esmalte-cerâmica correspondente a linha hachurada vertical no centro da imagem (Fonte: Dados da pesquisa, 2019)

3.9 Análise por Tomográfica por Coerência Óptica (OCT)

Como método clínico e laboratorial para análise da interface de união empregou-se a Tomografia por Coerência Óptica (TCO). O método é capaz de gerar imagens de secção transversal em alta resolução da microestrutura interna de materiais e sistemas biológicos (MOTA, 2013). Consiste em excelente técnica para visualização estrutural e marginal de restaurações, sem a necessidade de seccionar as amostras a serem estudadas, pois os meios disponíveis atualmente para a avaliação destas falhas (inspeção clínica e radiográfica), muitas vezes, não permitem uma correta identificação das mesmas.

A técnica foi desenvolvida com base no conceito de interferometria de baixa coerência, na qual, a luz proveniente da fonte é dividida em dois feixes, o feixe de referência e o feixe que se projeta até a amostra. O primeiro feixe projeta-se até o espelho móvel onde é totalmente refletido e volta em direção ao divisor de feixes. O segundo feixe sofre espalhamento e retroespalhamento de acordo com a natureza do tecido e ao encontrar diferentes índices de refração. A luz retroespalhada é recebida por meio da análise linear e transformada, pelo software, em imagem referente a um corte da amostra (MAIA *et al.*, 2015).

O sistema de Tomografia por Coerência Óptica (OCT) utilizado para este estudo foi um modelo comercial, o Callisto (Thorlabs Inc, Nova Jersey, EUA), operando no domínio espectral (SD-OCT). A fonte de luz utilizada é um diodo superluminescente com comprimento de onda central de 930 nm e largura de banda de 100 nm e potência máxima de saída de 3 Mw. Este sistema também possui um espectrômetro de alta velocidade de captura de dados, permitindo a geração de imagens transversais bi e tridimensionais, com resolução axial de 7/5,3 μm (ar/água) e resolução lateral de 8 μm e 1,6 mm de profundidade de penetração da luz no interior da amostra. Estas imagens foram capturadas na forma de matriz com 2000 colunas x 512 linhas e 400 colunas x 400 linhas, respectivamente. A frequência de varredura axial deste sistema é 1,2 kHz, o que permite a captura de duas imagens por segundo com 105 dB de sensibilidade e a área de varredura transversal foi de 4mm.

Após a realização da cimentação dos laminados cerâmicos (T0) os espécimes dos 2 grupos foram submetidos à análise da interface de união bem como da linha de cimentação, por meio do sistema de Tomografia por Coerência Óptica (OCT).

Os escaneamentos transversais permitiram a análise da interface em toda a superfície da amostra sendo que foram registrados 9 pontos para cada uma delas, uma na área central e as demais mantendo uma distância de 260 μm de acordo com a movimentação da plataforma, registrando 4 imagens para direita e quatro para esquerda a partir da marcação feita com o disco diamantado no centro da amostra, na região do esmalte (Figura 09).

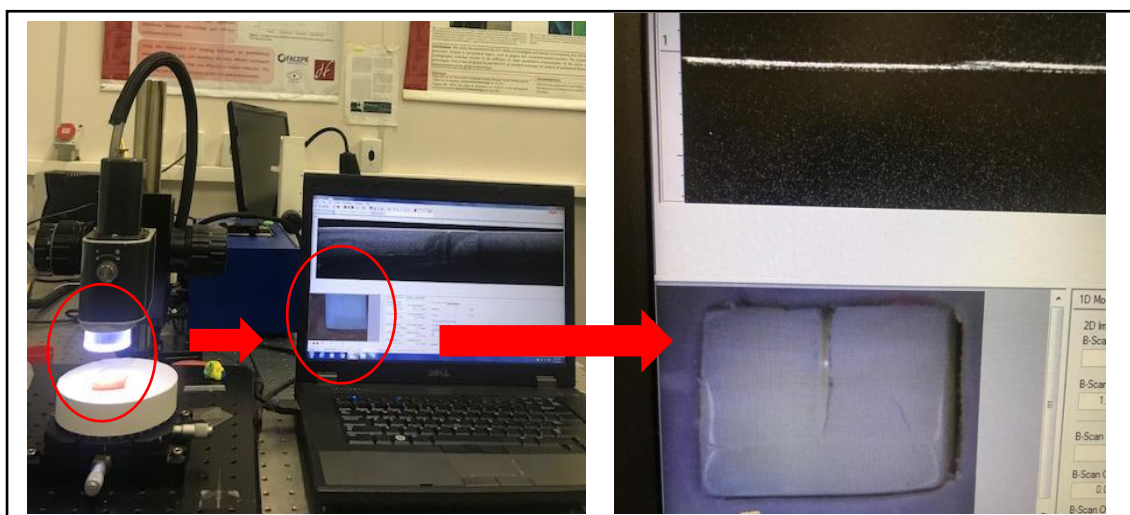
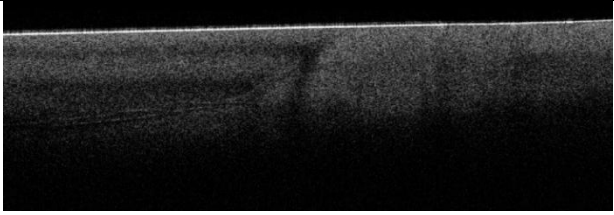
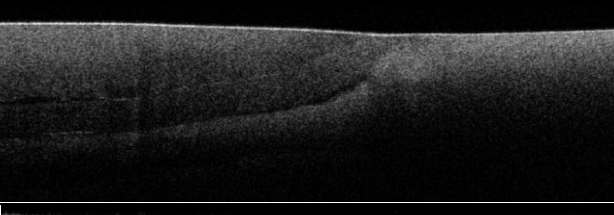


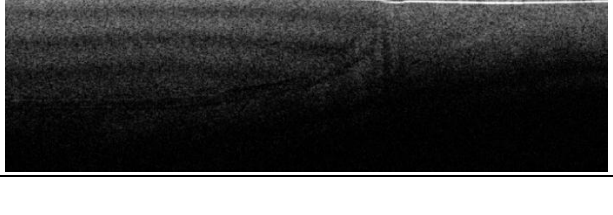


Figura 09 - Amostra posicionada na plataforma do OCT, iniciando a captura das imagens posicionando a luz guia no centro da fenda feita em esmalte (Fonte: Dados da pesquisa, 2019).

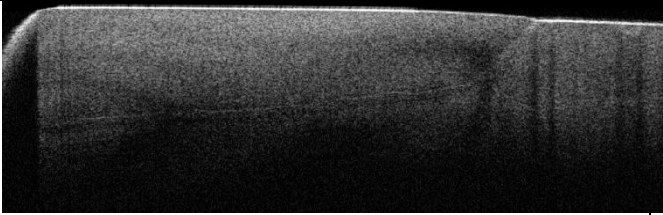
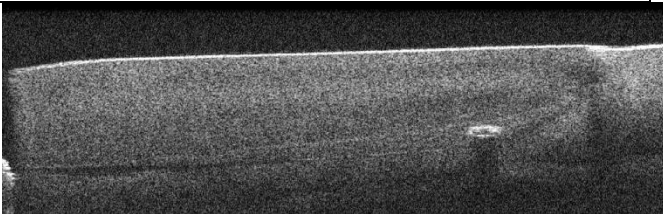
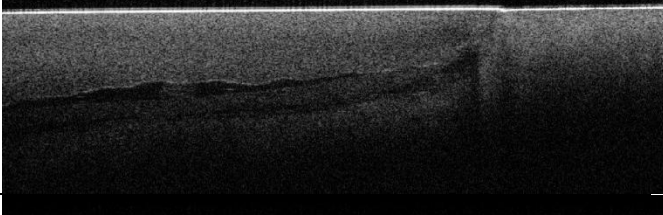
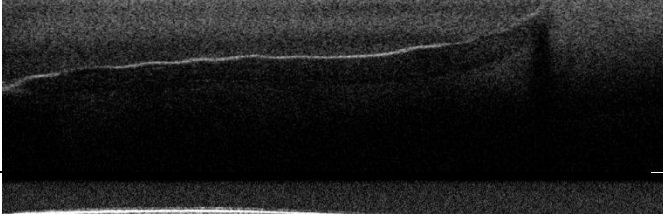
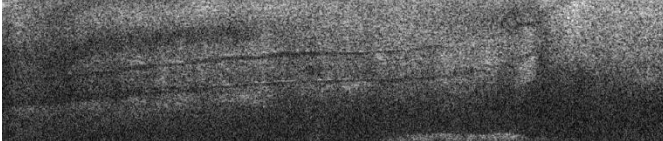
Observou-se a interface de união e a linha de cimentação quanto as alterações apresentadas, estabelecendo critérios de avaliação e categorização das variáveis (Quadro 02 e 03). Foram capturadas um total de 180 imagens, sendo 9 por amostra e 90 por grupo, para cada momento da análise: após a cimentação (T0), após a ciclagem térmica (T1) e após a ciclagem erosiva (T2). Todas as imagens foram analisadas e julgadas por um único examinador que desconhecia a qual grupo pertencia cada uma delas.

Quadro 02 - Categorização de alterações observadas na região da interface de cimentação na análise por OCT

Variável/ Categorização	Definição	Imagem
Sem alteração/1	Perfeita justaposição entre o laminado e a superfície do esmalte.	
Cimento exposto/2	Linha de cimento visível na interface de união.	
Falha com espalhamento óptico/3	Alteração radiopaca, mal definida na interface de união.	
Excesso de material/4	Volume de material na interface, gerando sobrecontorno.	
Depressão ou batente/5	Irregularidade mais baixa que a superfície do laminado e do esmalte.	

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Quadro 03 - Categorização de alterações observadas na região da linha de cimentação na análise por OCT

Variável/ Categorização	Definição	Imagem
Sem alteração/1	Agente de cimentação com aspecto uniforme e sem interrupção em toda sua extensão.	
Bolha/2	Alteração arredondada ou ovalar, bem definida.	
Espaço vazio/3	Imagem radiolúcida irregular.	
Linha branca intensa/4	Linha radiopaca na superfície do agente de cimentação.	
Adesivo em excesso/5	Linha radiolúcida delgada e uniforme.	

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Com o auxílio do software de domínio público, o Image J (Imaging Processing and Analysis em Java, National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA) mensurou-se a espessura da linha de cimentação para todas as amostras em 3 pontos (Figura 10), realizou-se a média aritmética dos valores obtido-se um valor médio para cada amostra. As falhas apresentadas na interface de união (Quadro 02), também foram mensuradas em T0, T1 e T2, utilizando o ImageJ, onde o valor de W refere-se a largura da falha e o valor de h corresponde a altura da falha (Figura 11). Todos os valores obtidos pelo programa são expressos em pixel, de acordo com a resolução do sistema de

OCT utilizado, onde o valor de 1 pixel corresponde a 0,00339258mm, possibilitando a transformação dos valores para uma escala métrica.

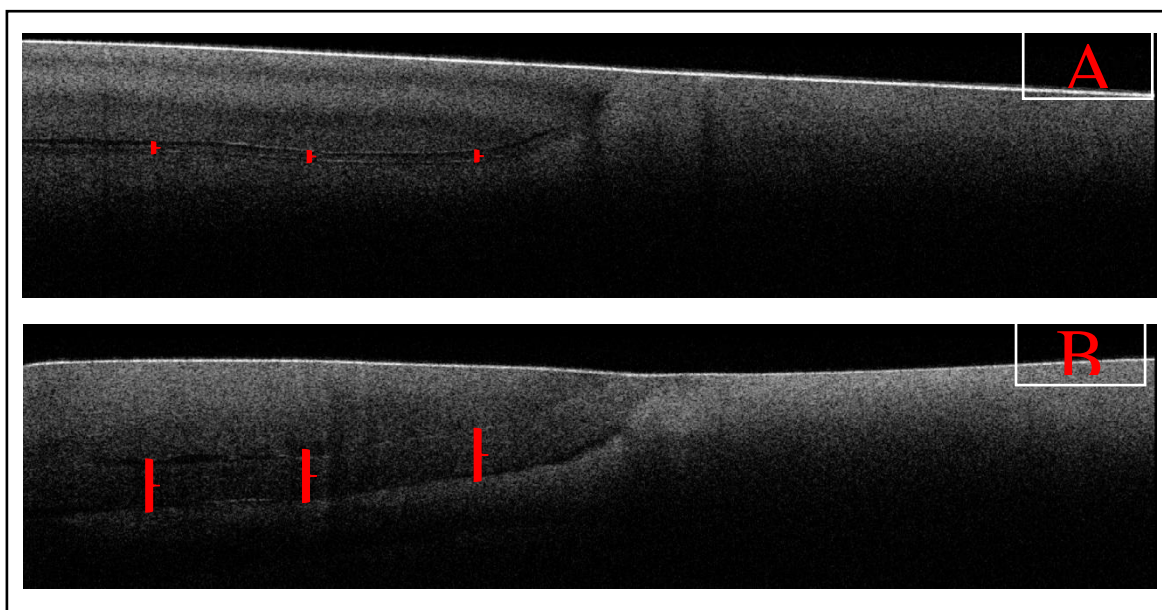


Figura 10 - Representação dos pontos medidos na linha de cimentação dos laminados. A- mensuração do grupo CR; B- mensuração do grupo RRA.
(Fonte: Dados da pesquisa, 2019)

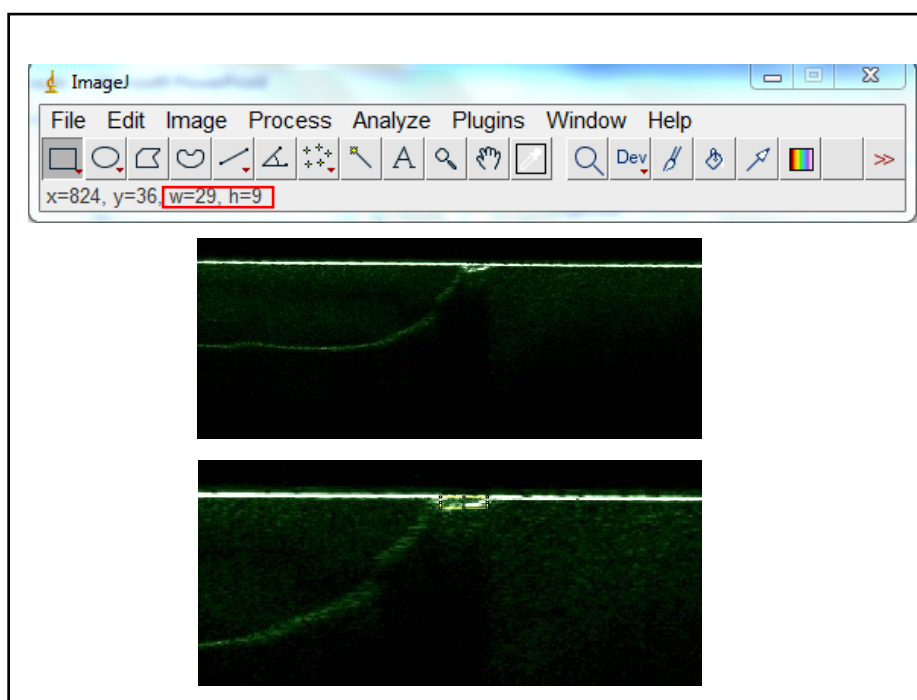


Figura 11 - Mensuração de alteração na interface de união através do programa ImageJ, onde W corresponde a largura e h a altura (Fonte: Dados da pesquisa, 2019)

3.10 Tabulação e análise estatística dos dados

Os dados foram computados e analisados usando o software IBM SPSS Statistic versão 20.0 (IBM Corp.Armonk, NY, EUA). Na análise dos dados de perfilometria, o pressuposto de distribuição normal não foi confirmado após realização do teste de Shapiro-Wilk e, portanto, testes estatísticos não paramétricos foram empregados. Para a comparação da rugosidade superficial e da diferença de altura entre a superfície dos substratos de acordo com os grupos (avaliação intergrupo, CR vs RRA), aplicou-se o teste de Mann-Whitney, enquanto para a comparação dentro dos grupos (avaliação intragrupo, T0 vs T1 vs T2) empregou-se o teste ANOVA de Friedman. Posteriormente, na análise dos dados de OCT, empregou-se os testes exato de Fisher, Mann-Whitney e Wilcoxon. Em todas as análises, o nível de significância foi fixado em 5% ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS

Os resultados serão apresentados conforme a elaboração de um artigo científico.

4.1 ARTIGO

Efeito da degradação ácida na interface de união de laminados cerâmicos por meio da perfilometria e tomografia de coerência óptica

Periódico: Clinical Oral Investigations

Fator de impacto: 2.453 – Qualis A1

Formatado segundo as normas de publicação do periódico (ANEXO A)

Efeito da degradação ácida na interface de união de laminados cerâmicos por meio da perfilometria e tomografia de coerência óptica

Autores:

Sheyla Kátia Lúcio Dornelas¹

Patrícia Meira Bento¹

1 Department of Dentistry, State University of Paraíba, Campina Grande, Paraíba, Brazil.

* Corresponding author: Patrícia Meira Bento

Av. das Baraúnas, nº 351, Department of Dentistry and Public Health, State University of Paraíba (UEPB), Campina Grande 58429-500, Paraíba, Brazil.

Email: patmeira@.uol.com.br

Tel: +55 08333153326

RESUMO

Objetivo: Avaliar a influencia do agente de cimentação na degradação ácida da interface de união e linha de cimentação de laminados cerâmicos por meio da perfilometria e tomografia de coerência óptica (OCT).

Materiais e métodos: 10 laminados cerâmicos IPS E.max (Ivoclar-Vivadent) foram cimentados com cimento resinoso (grupo CR), e 10 com resina restauradora aquecida (grupo RRA) e analisadas sua interface esmalte-cerâmica, linha de cimentação e rugosidade (R_a , μm) após cimentação (T0), ciclagem térmica (T1) e erosiva (T2).

Resultados: Os valores de R_a apresentaram tendência de aumento significativa na região de esmalte, cimento e cerâmica ($p < 0,05$), porém em RRA, na região de cerâmica não foi observada variação significativa ($p = 0,741$). A frequência de alterações na região da interface e na linha de cimentação foram estatisticamente significativas ($p < 0,001$) entre os grupos. Em todas as amostras do CR, verificou-se espessura de cimento adequada ($n = 90$; 100,0%) em detrimento a RRA. Na região de interface o valor de W (largura) apresentou diferença estatisticamente significativa entre CR e RRA tanto em T0 ($p = 0,002$) como em T2 ($p = 0,022$), e o valor de h (altura) mostrou diferença estatisticamente significativa entre os grupos em T2 ($p = 0,006$). Houve aumento estatisticamente significativo no tamanho dos defeitos na interface intragrupo entre T0 e T2.

Conclusão: Os defeitos na interface se acentuaram após o desafio erosivo. A resina restauradora aquecida não se mostrou adequada para a cimentação de laminados cerâmicos.

Relevância clínica: A contínua exposição da linha de cimentação, à solução ácida, em pacientes com refluxo gastroesofágico, pode levar ao insucesso a curto prazo da restauração.

Palavras-chaves: Tomografia de coerência óptica; Perfilometro; Cimento resinoso; Suco gástrico; Cerâmicas odontológicas; Erosão dental.

Introdução

O uso de materiais restauradores indiretos tornam-se cada vez mais comum na clínica odontológica e as facetas ou laminados cerâmicos são as restaurações indiretas mais indicadas pelos profissionais para reabilitar os dentes anteriores, devido ao seu alto resultado estético e previsibilidade à longo prazo, enquanto as facetas confeccionadas em compósitos apresentam uma menor durabilidade [1].

A cimentação é um procedimento fundamental para o sucesso clínico das restaurações [2] e os cimentos resinosos fotopolimerizáveis são materiais

de eleição para cimentação de facetas cerâmicas [3-5], porém alguns estudos têm investigado o uso de resinas compostas pré-aquecidas como um material capaz de garantir os requisitos de uma boa cimentação [3, 6-10]. A maior quantidade de partículas de carga das resinas restauradoras, aumenta o grau de conversão dos monômeros e conseqüentemente melhora suas propriedades físicas e mecânicas [7, 9- 17], bem como sua resistência à degradação oral [10, 15-17].

Após a cimentação de uma restauração indireta a linha de cimentação se torna o elo fraco do sistema [18], a região de interface dente/restauração fica susceptível a pigmentação marginal, desmineralização com perda de estrutura e infiltração marginal [19].

O selamento marginal efetivo é considerado um fator primordial para a durabilidade à longo prazo da restauração [20]. MOUNAJJED *et al.* [21], realizaram revisão sistemática a cerca da adaptação marginal de restaurações indiretas confeccionadas em cerâmica de dissilicato de lítio e observaram que a maioria dos estudos mostrou gaps dentro de um limite clinicamente aceitável, com valores entre 38 µm e 138µm podendo ser encontrados na literatura.

Os tecidos dentais e os materiais restauradores presentes na cavidade oral estão susceptíveis a degradação hidrolítica, exposição a microorganismos, alteração da temperatura bucal e aos hábitos alimentares [22] com conseqüente alteração em sua dureza, resistência à tração e à flexão, resintência de união, aumento da rugosidade da superfície, indução da propagação de fissuras e infiltração das suas margens [20, 23-28].

Exposição à substâncias ácidas, sejam de origem intrínseca ou extrínseca, também promovem mudanças em suas propriedades físicas e macânicas [29-36], como fatores intrínsecos está o suco gástrico que entra em contacto com os dentes através do vômito, regurgitação ou refluxo gastroesofágico [33].

A Tomografia por Coerência Óptica (OCT) capaz de gerar imagens da microestrutura interna de materiais e sistemas biológicos [37,38], consiste em excelente método clínico e laboratorial para análise da interface dente restauração [39]. A valiação da integridade de selantes dentários, a interface e as falhas internas de restaurações dentárias diretas e indiretas de resina, [17,38,52] foi investigada por meio dessa técnica, no entanto poucos dados foram registrados na avaliação de restaurações indiretas de cerâmica [39, 40,

41]. A OCT pode ser considerada um método de diagnóstico precoce de falhas contidas na estrutura interna das coroas cerâmicas antes de inseri-las na cavidade bucal, reduzindo os riscos de insucesso em um tratamento protético [42, 43] e também um método eficaz e promissor para avaliação clínica da linha de cimentação em laminados cerâmicos [44, 45].

Propomos nesta pesquisa avaliar a influencia do agente de cimentação na degradação ácida da interface de união e linha de cimentação de laminados cerâmicos por meio da perfilometria e tomografia de coerência óptica (OCT).

Material e métodos

Preparação dos Espécimes

Foram utilizados um total de vinte incisivos bovinos limpos com curetas periodontais (Duflex 55G/SS, White Artigos Dentários Ltda, Rio de Janeiro, RJ, Brasil) e armazenados em cloramina tri-hidratada 0,5% durante uma semana. Polidos, em politriz (ERIOS – 27000, São Paulo, SP, Brasil), com lixa de carbetto de silício com granulações de # 600 e #1200 para regularização e polimento da superfície. Foram seccionados na junção amelocementária e preparados blocos de 8 mm x 6 mm a partir da área plana da superfície vestibular com disco diamantado de dupla face nº 7016 (KG Sorensen, Cotia, São Paulo, Brasil) acoplados em peça reta. Realizou-se desgaste, totalmente em esmalte, nos 2mm inferiores do bloco e dente bovino, indo da borda lateral direita até 1mm da borda lateral esquerda, confeccionando uma cavidade com dimensões de aproximadamente 6 mm x 2 mm de largura e altura, e 0,5 mm de profundidade, para receberem os laminados confeccionados em cerâmica vítrea de dissilicato de lítio, IPS E.max Press (Ivoclar Vivadent, AG; Shaan, Liechtentein), na cor HT A1, através da técnica de injeção.

As restaurações foram divididas em dois grupos, conforme o material de cimentação: grupo CR cimento resinoso Variolink Esthetic IC (Ivoclar Vivadent) e grupo RRA resina restauradora Filtek Z 350 XT (3M Espe) sob aquecimento controlado em estufa bacteriológica digital (Lucadema 81/42, São José do Rio Preto, SP, Brasil), a 60° C. Utilizou-se uma agulha tipo Gilmore de 450 g ± 0,5 g e ponta ativa de 3,0 mm ±0,1 mm de diâmetro para padronizar a força de assentamento imprimida na superfície dos laminados antes da fotoativação do agente de cimentação.

Ciclagem Térmica

As amostras de cada grupo (n=10) foram cicladas em uma cicladora térmica (Odeme Dental Research, Luzerna SC, Brasil) em água a 5°C e 55°C, por 1000 ciclos, com 15s de tempo de banho em cada temperatura e 20s de tempo de transferência entre os banhos.

Ciclagem Erosiva

Os espécimes foram submetidos à ciclagem erosiva por 5 dias, realizada por imersão dos espécimes em 25 ml de solução ácida simulando o suco gástrico (pH 2,3), constituída por ácido clorídrico (0,01 M) e pepsina (0,05ml/mlHCl) durante 5 min. As amostras foram lavadas com água desionizada por aproximadamente 20 segundos imersos em saliva artificial por 2 horas. Este procedimento foi repetido 3 vezes por dia e ao final de cada dia de ciclo, os espécimes foram imersos em saliva artificial com pH 7.0 durante 18 horas, a 25°C em estufa biológica [46].

Análise por perfilometria

A mensuração da rugosidade superficial (Ra), foi realizada através de perfilômetro óptico (Taylor Jobson®, CCI MP, England) com objetiva de 20x, área lida de 0.86x0.86mm e resolução de 256x256 pixel, abertura numérica de 0,4 e velocidade de varredura 1x, no modo “Z”. Foram realizados dois escaneamentos para cada corpo de prova, o primeiro na área central marcada por uma fenda feita na região do esmalte, e o segundo de acordo com a movimentação da lente 1 mm para direita. A partir dos valores obtidos foi retirada a média de Ra do esmalte, da cerâmica e do agente de cimentação de cada corpo de prova, expressa em micrômetros (μm). A análise foi realizada após a cimentação dos laminados (T0), após a ciclagem térmica (T1) e após a ciclagem erosiva (T2).

Também foi registrada em T0, T1 e T2 a diferença de altura entre as superfícies dos substratos esmalte-cerâmica, cimento-cerâmica e esmalte-cimento através da leitura de gráfico gerado após o escaneamento da amostra.

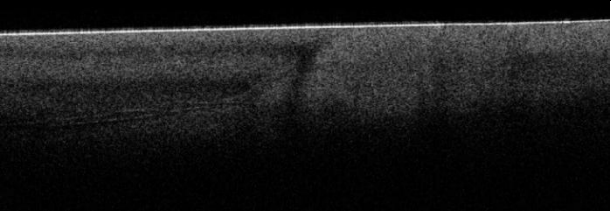
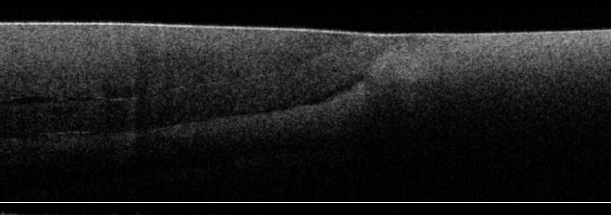


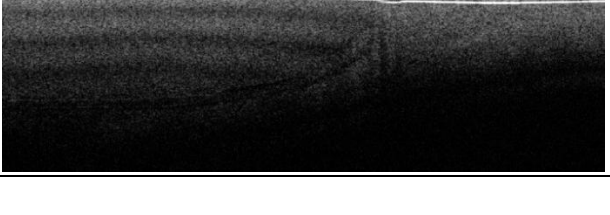
Análise por Tomografia de Coerência Óptica (OCT)

O sistema de Tomografia por Coerência Óptica (OCT) utilizado para este estudo foi o Callisto (Thorlabs Inc, Nova Jersey, EUA), operando no domínio espectral (SD-OCT). A fonte de luz utilizada é um diodo superluminescente com comprimento de onda central de 930 nm e largura de banda de 100 nm e potência máxima de saída de 3 mW. Este sistema também possui um espectrômetro de alta velocidade de captura de dados, permitindo a geração de imagens transversais bi e tridimensionais, com resolução axial de 7/5,3 μm (ar/água) e resolução lateral de 8 μm e 1,6 mm de profundidade de penetração da luz no interior da amostra, realizou-se varredura de 4mm.

Foram registradas 9 imagens para cada amostra, uma na área central e as demais mantendo uma distância de 260 μm de acordo com a movimentação da plataforma, registrando 4 imagens para direita e quatro para esquerda a partir da marcação feita com o disco diamantado no centro da amostra, na região do esmalte.

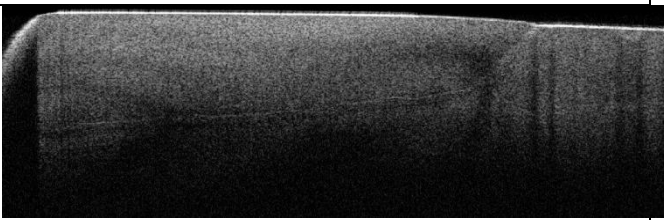
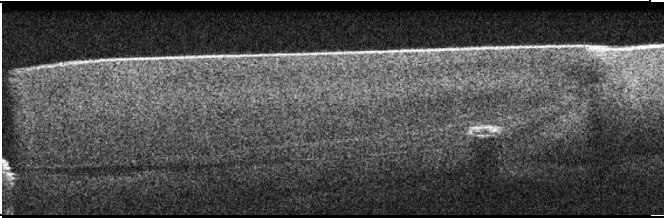
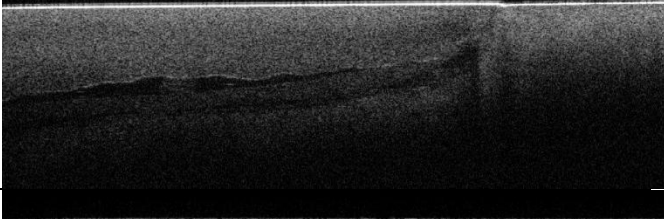
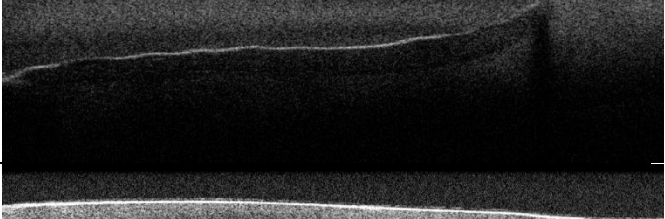
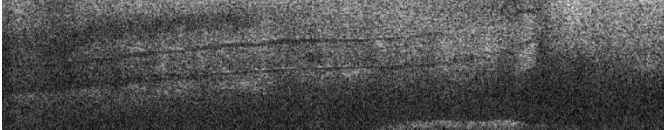
Observou-se a interface de união e a linha de cimentação a quanto as alterações apresentadas (quadro 01 e 02), estabelecendo critérios de avaliação e categorização das variáveis. Foram capturadas um total de 180 imagens, para cada momento da análise: após a cimentação (T0), após a ciclagem térmica (T1) e após a ciclagem erosiva (T2). Todas as imagens foram analisadas e julgadas por um único examinador que desconhecia a qual grupo pertencia cada uma delas.

Quadro 01 - Categorização de alterações observadas na região da interface de cimentação na análise por OCT

Variável/ Categorização	Definição	Imagem
Sem alteração/1	Perfeita justaposição entre o laminado e a superfície do esmalte.	
Cimento exposto/2	Linha de cimento visível na interface de união.	
Falha com espalhamento óptico/3	Alteração radiopaca, mal definida na interface de união.	
Excesso de material/4	Volume de material na interface, gerando sobrecontorno.	
Depressão ou batente/5	Irregularidade mais baixa que a superfície do laminado e do esmalte.	

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Quadro 02 - Categorização de alterações observadas na região da linha de cimentação na análise por OCT

Variável/ Categorização	Definição	Imagem
Sem alteração/1	Agente de cimentação com aspecto uniforme e sem interrupção em toda sua extensão.	
Bolha/2	Alteração arredondada ou ovalar, bem definida.	
Espaço vazio/3	Imagem radiolúcida irregular.	
Linha branca intensa/4	Linha radiopaca na superfície do agente de cimentação.	
Adesivo em excesso/5	Linha radiolúcida delgada e uniforme.	

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Usando software de domínio público, o Image J (Imaging Processing and Analysis em Java, National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA) mensurou-se a linha de cimentação para todas as amostras em 3 pontos, obtendo-se um valor médio para cada amostra. As alterações apresentadas na interface, também foram mensuradas em T0, T1 e T2, onde o valor de W refere-se a largura e o valor de h corresponde a altura da alteração mensurada.

Análise Estatística

Os dados foram computados e analisados usando o software IBM SPSS Statistic versão 20.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EUA). Para a comparação da

rugosidade superficial e da diferença de altura entre um material e outro de acordo com os grupos (avaliação intergrupo, CR vs RRA), aplicou-se o teste de Mann-Whitney, enquanto para a comparação dentro dos grupos (avaliação intragrupo, T0 vs T1 vs T2) empregou-se o teste ANOVA de Friedman. Posteriormente, na análise dos dados de OCT, empregou-se os testes exato de Fisher, Mann-Whitney e Wilcoxon. Em todas as análises, o nível de significância foi fixado em 5% ($p < 0,05$)

Resultados

Análise por perfilometria

Todas as amostras foram analisadas em perfilômetro óptico em T0, T1 e T2. Para a rugosidade superficial, na análise intragrupo, os valores de rugosidade superficial das amostras do grupo CR apresentaram aumento significativo na região de esmalte ($p < 0,001$), cimento ($p < 0,001$) e cerâmica ($p = 0,028$). Para as amostras do grupo RRA, os valores de rugosidade superficial também apresentaram aumento significativo na região de esmalte ($p < 0,001$) e cimento ($p = 0,025$). Na análise intergrupo, não se verificou diferença estatisticamente significativa entre os grupos na região de cimento, porém em T2 os valores foram maiores para o CR (Me = 0,96; IIQ = 0,69-2,80) em comparação com o RRA (Me = 0,58; IIQ = 0,35-1,16). (Tabela 01).

Tabela 01: Rugosidade superficial (μm) de acordo com os grupos e tempos avaliados.

	Grupo CR			Grupo RRA			p-valor ⁽¹⁾
	Me	IIQ		Me	IIQ		
		P25	P75		P25	P75	
ESMALTE							
T0	0,23 ^{Aa}	0,14	0,44	0,20 ^{Aa}	0,17	0,22	0,247
T1	0,26 ^{Ab}	0,19	0,63	0,22 ^{Aa}	0,16	0,24	0,143
T2	0,63 ^{Ac}	0,50	1,03	0,30 ^{Bb}	0,24	0,64	0,029*
p-valor ⁽²⁾	< 0,001*			<0,001*			
CIMENTO							
T0	0,32 ^{Aa}	0,20	1,92	0,25 ^{Aa}	0,20	0,66	0,481
T1	0,43 ^{Aa}	0,22	2,22	0,22 ^{Aa}	0,18	0,44	0,089
T2	0,96 ^{Ab}	0,69	2,80	0,58 ^{Ab}	0,35	1,16	0,075
p-valor ⁽²⁾	< 0,001*			0,025*			
CERÂMICA							
T0	0,22 ^{Aa}	0,16	0,29	0,23 ^{Aa}	0,21	0,27	0,796
T1	0,27 ^{Aa,b}	0,20	0,37	0,24 ^{Aa}	0,20	0,27	0,393
T2	0,27 ^{Ab}	0,22	0,42	0,27 ^{Aa}	0,20	0,41	0,631
p-valor ⁽²⁾	0,028*			0,741			

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Notas: CR = Cimento resinoso; RRA = Resina restauradora aquecida; T0 = Após a cimentação; T1 = Após a ciclagem térmica; T2 = Após a ciclagem erosiva; Me = mediana; IIQ = intervalo interquartil (percentil 25 – percentil 75). Letras diferentes denotam resultados significativamente diferentes ($p < 0,05$); ⁽¹⁾ Teste Mann Whitney; ⁽²⁾ Teste ANOVA de Friedman; * Diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).

A Tabela 02 mostra os resultados da diferença de altura entre os substratos analisados. Na análise intergrupo, verificou-se diferença estatisticamente significativa entre CR e RRA para os substratos esmalte-cerâmica em T0 ($p = 0,043$), T1 ($p = 0,019$) e T2 ($p = 0,007$); para os substratos cimento-cerâmica em T0 ($p = 0,029$); e para os substratos esmalte-cimento em T0 ($p = 0,043$) e T1 ($p = 0,023$). Na análise intragrupo, em CR, os valores da distância entre os substratos apresentaram aumento significativo no esmalte-cerâmica ($p = 0,014$), cimento-cerâmica ($p = 0,006$) e esmalte-cimento ($p < 0,001$). Para as amostras do RRA apresentaram aumento significativo no esmalte-cerâmica ($p < 0,001$) e cimento-cerâmica ($p < 0,001$). Para o esmalte-cimento não foi observada variação significativa ($p = 0,452$).

Tabela 02: Análise da diferença de altura entre os substratos de acordo com os grupos e tempos avaliados.

Substratos	Grupo CR			Grupo RRA			p-valor ⁽¹⁾
	Me	IIQ		Me	IIQ		
		P25	P75		P25	P75	
ESMALTE-CERÂMICA							
T0	0,22 ^{Ba}	0,11	0,60	1,40 ^{Aa}	0,32	3,32	0,043*
T1	0,23 ^{Bb}	0,12	0,65	1,53 ^{Ab}	0,72	3,43	0,019*
T2	1,14 ^{Bb}	0,99	1,52	3,39 ^{Ac}	1,57	4,71	0,007*
p-valor ⁽²⁾	0,014*			< 0,001*			
CIMENTO-CERÂMICA							
T0	0,92 ^{Ba}	0,67	1,26	6,11 ^{Aa}	1,45	12,10	0,029*
T1	0,96 ^{Aa}	0,73	1,30	6,48 ^{Aa}	1,13	12,80	0,063
T2	6,90 ^{Ab}	5,09	8,86	7,71 ^{Ab}	5,71	14,73	0,579
p-valor ⁽²⁾	0,006*			< 0,001*			
ESMALTE-CIMENTO							
T0	0,85 ^{Ba}	0,56	0,91	3,18 ^{Aa}	1,00	11,10	0,043*
T1	0,86 ^{Bb}	0,57	0,99	3,14 ^{Aa}	1,13	11,22	0,023*
T2	5,75 ^{Ac}	4,23	6,66	6,30 ^{Aa}	3,14	9,46	0,631
p-valor ⁽²⁾	< 0,001*			0,452			

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Notas: CR = Cimento resinoso; RRA = Resina restauradora aquecida; T0 = Após a cimentação; T1 = Após a ciclagem térmica; T2 = Após a ciclagem erosiva; Me = mediana; IIQ = intervalo interquartil (percentil 25 – percentil 75). Letras

diferentes denotam resultados significativamente diferentes ($p < 0,05$); ⁽¹⁾ Teste Mann Whitney; ⁽²⁾ Teste ANOVA de Friedman; * Diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).

Análise por OCT

De acordo com a Tabela 03, diferenças estatisticamente significativas foram observadas entre os grupos em relação à frequência de alterações observadas na região da linha de cimentação ($p < 0,001$). No CR, a maioria das amostras não apresentava alterações na linha de cimentação em T0 ($n = 63$; 70,0%), T1 ($n = 63$; 70,0%) e T2 ($n = 55$; 61,1%). Em contrapartida, no RRA, a maioria das amostras tinha algum tipo de alteração, principalmente do tipo linha branca intensa em T0 ($n = 30$; 33,3%), T1 ($n = 30$; 33,3%) e T2 ($n = 34$; 37,8%).

Tabela 03: Frequência de alterações observadas na região da linha de cimentação de acordo com os grupos e tempos avaliados.

Variáveis	CR		RRA		p-valor ⁽¹⁾
	N	%	n	%	
T0					< 0,001*
Sem alterações	63	70,0	18	20,0	
Bolhas	1	1,1	10	11,1	
Espaço vazio	8	8,9	28	31,1	
Linha branca intensa	2	2,2	30	33,3	
Adesivo em excesso	16	17,8	4	4,4	
T1					< 0,001*
Sem alterações	63	70,0	18	20,0	
Bolhas	1	1,1	10	11,1	
Espaço vazio	8	8,9	28	31,1	
Linha branca intensa	2	2,2	30	33,3	
Adesivo em excesso	16	17,8	4	4,4	
T2					< 0,001*
Sem alterações	55	61,1	16	17,8	
Bolhas	2	2,2	10	11,1	
Espaço vazio	10	11,1	27	30,0	
Linha branca intensa	10	11,1	34	37,8	
Adesivo em excesso	13	14,4	3	3,3	

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Notas: CR = Cimento resinoso; RRA = Resina restauradora aquecida; T0 = Após a cimentação; T1 = Após a ciclagem térmica; T2 = Após a ciclagem erosiva; ⁽¹⁾ Teste exato de Fisher; * Diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).

De acordo com a Tabela 04, diferenças estatisticamente significativas foram observadas entre os grupos em relação à frequência de alterações observadas na região da interface ($p < 0,001$). No CR, a maioria das amostras

não apresentava alterações na região de interface em T0 (n = 31; 34,4%) e T1 (n = 31; 34,4%). Em T2, metade das amostras tinha alteração do tipo batente (n = 45; 50,0%). No RRA, a maioria das amostras tinha algum tipo de alteração, principalmente do tipo cimento exposto em T0 (n = 49; 54,4%) e T1 (n = 50; 55,6%). Em T2, a maior parte das amostras tinha falhas com espalhamento (n = 31; 34,4%).

Tabela 04: Frequência de alterações observadas na região de interface de acordo com os grupos e tempos avaliados.

Variáveis	CR		RRA		p-valor ⁽¹⁾
	N	%	n	%	
T0					< 0,001*
Sem alteração	31	34,4	23	25,6	
Cimento exposto	25	27,8	49	54,4	
Falhas com espalhamento	8	8,9	6	6,7	
Excesso de material	0	0,0	6	6,7	
Depressão / batente	26	28,9	6	6,7	
T1					< 0,001*
Sem alteração	31	34,4	23	25,6	
Cimento exposto	25	27,8	50	55,6	
Falhas com espalhamento	7	7,8	6	6,7	
Excesso de material	0	0,0	5	5,6	
Depressão / batente	27	30,0	6	6,7	
T2					< 0,001*
Sem alteração	13	14,4	8	8,9	
Cimento exposto	1	1,1	20	22,2	
Falhas com espalhamento	31	34,4	31	34,4	
Excesso de material	0	0,0	7	7,8	
Depressão / batente	45	50,0	24	26,7	

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Notas: CR = Cimento resinoso; RRA = Resina restauradora aquecida; T0 = Após a cimentação; T1 = Após a ciclagem térmica; T2 = Após a ciclagem erosiva; ⁽¹⁾ Teste exato de Fisher; * Diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).

A Figura 01 mostra uma imagem topográfica gerada através do escaneamento feito por perfilômetro, de uma amostra do CR em T0, onde observa-se a interface esmalte-cimento-cerâmica, o gráfico corresponde a um corte transversal das três superfícies, com destaque para a falha tipo batente na interface de união cimento- cerâmica. Após o ciclo erosivo (Figura 02) houve um aumento da falha tipo batente verificado pelo aumento do vale destacado no gráfico e pela imagem por OCT.

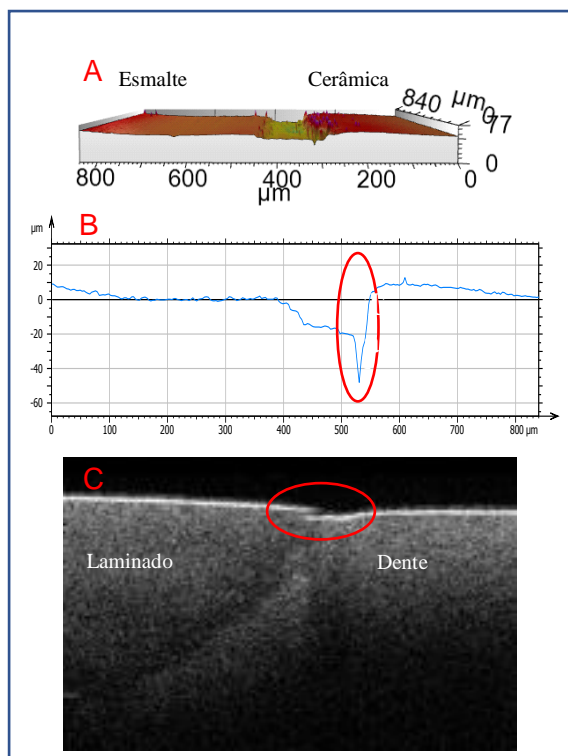


Figura 01. Grupo CR em T0- A: Imagem da interface por perfilômetro; B: Gráfico destacando o vale mais baixo da interface; C: Imagem da interface por OCT, mostrando falha tipo batente (Fonte: Dados da pesquisa, 2019)

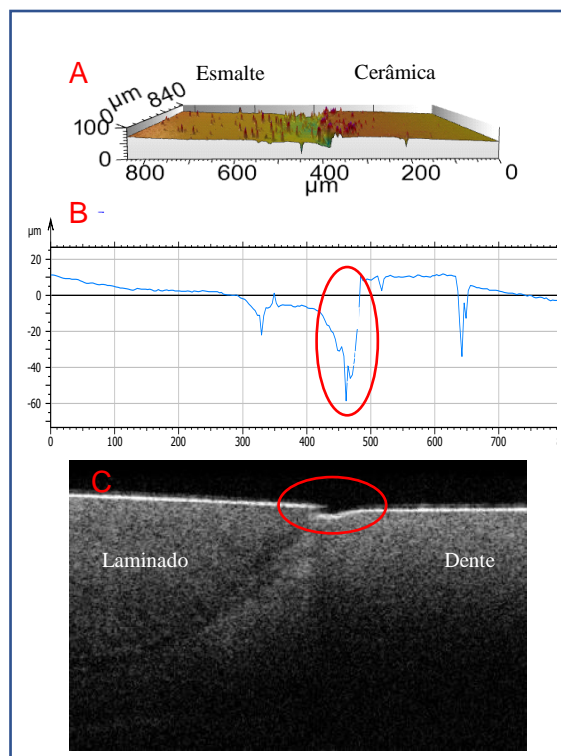


Figura 02. Grupo CR em T2 - A: Imagem da interface por perfilômetro; B: Gráfico destacando aumento do vale mais baixo da interface; C: Imagem da interface por OCT, mostrando falha tipo batente (Fonte: Dados da pesquisa, 2019)

A Figura 03 mostra uma imagem topográfica gerada através do escaneamento feito por perfilômetro, de uma amostra do grupo RRA em T0, onde observa-se a interface esmalte-cimento-cerâmica, o gráfico corresponde a um corte transversal das três superfícies, com destaque para a falha tipo cimento exposto na interface de união esmalte-cerâmica. Após o ciclo erosivo (Figura 04) houve a formação da falha tipo batente verificado pelo aparecimento do vale destacado no gráfico e pela imagem por OCT.

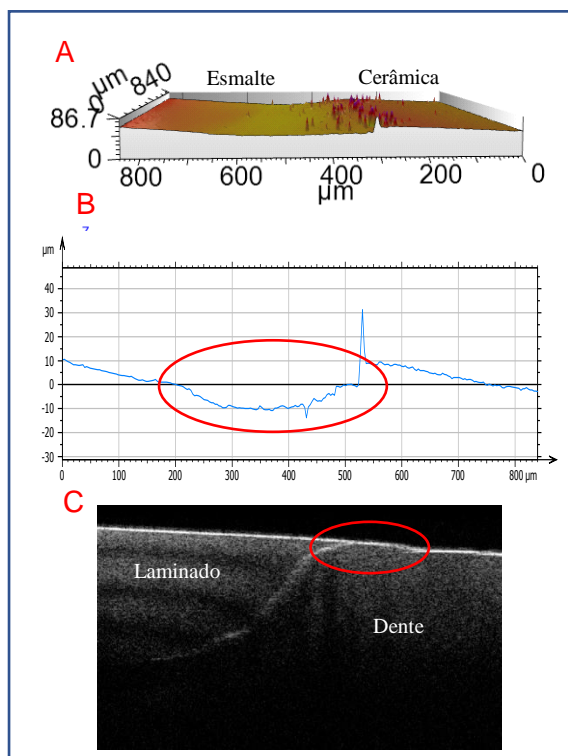


Figura 03. Grupo RRA em T0- A: Imagem da interface por perfilômetro; B: Gráfico com destaque na linha de cimentação; C: Imagem da interface por OCT, mostrando falha tipo cimento exposto. (Fonte: Dados da pesquisa, 2019)

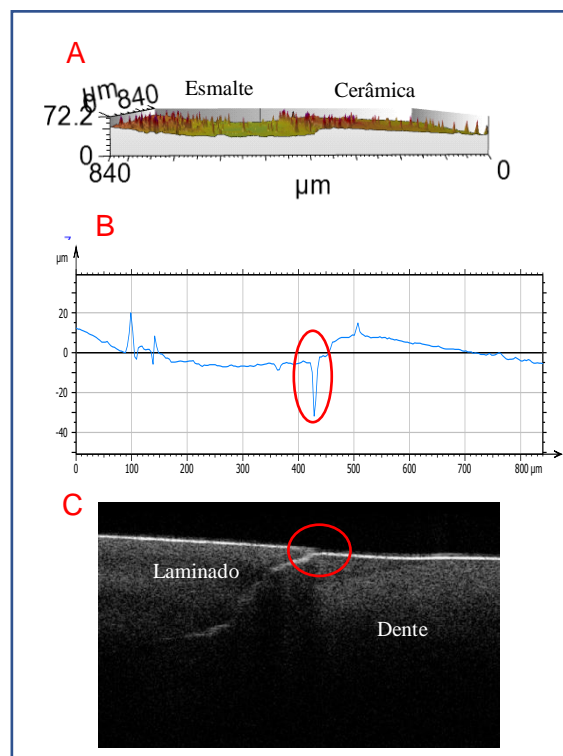


Figura 04. Grupo RRA em T2- A: Imagem da interface por perfilômetro; B: Gráfico com destaque para o vale mais baixo da interface pós erosão; C: Imagem da interface por OCT, mostrando falha tipo batente. (Fonte: Dados da pesquisa, 2019)

Quanto à espessura de cimento observada na região de linha de cimentação, o valor mediano foi menor para o CR (Me = 0,5; IIQ = 0,4-0,5) em comparação com o RRA (Me = 1,1; IIQ = 0,8-1,3), com diferença estatisticamente significativa ($p < 0,001$). Em todas as amostras do CR, verificou-se espessura de cimento $\leq 0,5\text{mm}$, considerada adequada de acordo com a ISO 4049. Ao passo que em todas as amostras do RRA, constatou-se espessura de cimento $\geq 0,8\text{mm}$, inadequada de acordo com a ISO 4049 (Tabela 05).

Tabela 05: Mensuração (μm) da linha de cimentação entre os grupos experimentais.

Variáveis	CR			RRA			p-valor ⁽¹⁾
	Me	IIQ		Me	IIQ		
		P25	P75		P25	P75	
LINHA DE CIMENTAÇÃO							
Espessura do cimento Image J (em μm)	0,5 ^A	0,4	0,5	1,1 ^B	0,8	1,3	<0,001*

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Notas: CR = Cimento resinoso; RRA = Resina restauradora aquecida; Me = mediana; DP = desvio-padrão; IIQ = intervalo interquartil (percentil 25 – percentil 75). Letras diferentes denotam resultados significativamente diferentes ($p < 0,05$); ⁽¹⁾ Teste de Mann-Whitney, CR vs RRA * Diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).

Na região de interface o valor de W (largura) apresentou diferença estatisticamente significativa entre CR e RRA tanto em T0 ($p = 0,002$) como em T2 ($p = 0,022$), e o valor de h (altura) mostrou diferença estatisticamente significativa entre CR e RRA em T2 ($p = 0,006$). Na avaliação intragrupo para CR, diferença estatisticamente significativa entre T0 e T2 foi observada para os valores de W ($p < 0,001$) e para os valores de h ($p < 0,001$), sinalizando tendência de aumento dos valores medianos entre os dois tempos. Na avaliação intragrupo para RRA, diferença estatisticamente significativa entre T0 e T2 foi observada para os valores de W ($p = 0,009$) e para os valores de h ($p < 0,001$) (Tabela 6).

Tabela 06: Mensuração das falhas da interface de união entre os grupos experimentais

Variáveis	CR			RRA			p-valor ⁽¹⁾
	Me	IIQ		Me	IIQ		
		P25	P75		P25	P75	
INTERFACE							
Image J – valor de W (largura) em μm							
T0	0,7 ^{Aa}	0,0	1,3	1,1 ^{Ba}	0,0	3,1	0,002*
T2	1,0 ^{Ab}	0,3	1,5	1,0 ^{Bb}	0,4	3,1	0,022*
p-valor ⁽²⁾	<0,001*			0,009*			
Image J – valor de h (altura) em μm							
T0	0,0 ^{Aa}	0,0	0,2	0,0 ^{Aa}	0,0	0,2	0,263
T2	0,2 ^{Ab}	0,1	0,3	0,1 ^{Bb}	0,1	0,3	0,006*
p-valor ⁽²⁾	<0,001*			<0,001*			

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Notas: CR = Cimento resinoso; RRA = Resina restauradora aquecida; T0 = Após a cimentação; T2 = Após a ciclagem erosiva; Me = mediana; DP = desvio-padrão; IIQ = intervalo interquartil (percentil 25 – percentil 75). ⁽¹⁾ Teste de

Mann-Whitney, CR vs RRA); ⁽²⁾ Teste de Wilcoxon, T0 vs T2); * Diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).

Discussão

Houve um aumento estatisticamente significativo na rugosidade (Ra) superficial dos materiais analisados, após a ciclagem erosiva. Para RRA, a cerâmica apresentou tendência para o aumento da rugosidade, porém sem significância estatística, foi observado que a cerâmica foi o material que teve a menor alteração de rugosidade [47].

O cimento resinoso apresentou maiores valores de Ra do que a resina restauradora, contudo não houve diferença estatisticamente significativa entre os compósitos utilizados para cimentação. A literatura mostra aumento de Ra, de substratos na cavidade bucal, expostos a soluções ácidas [30,31,34,36, 48-50].

O fato das partículas de carga do cimento resinoso serem maiores, com menor conteúdo inorgânico, do que a resina aquecida nano-particulada, não influenciou estatisticamente os valores de Ra após o ciclo erosivo. Tantanuch *et al.* [35] encontraram valores de Ra estatisticamente significantes entre compósitos nanoparticulados e nanohíbridos após exposição a substâncias ácidas, enquanto Albuquerque Guedes *et al.* [36] observaram diferença significativa nos valores de Ra de cimentos de ionômero de vidro e resinas compostas.

Houve uma diferença estatisticamente significativa de altura entre as superfícies esmalte-cerâmica intergrupo, podendo ser explicada pelo não assentamento correto do laminado, cimentado com a resina restauradora, nas paredes da cavidade, refletindo-se em valores maiores de diferença de altura para o RRA. Há um aumento nos valores da mediana (Me) após a ciclagem erosiva podendo ser justificada pela erosão sofrida na superfície do esmalte exposta a solução gástrica, aumentando a sua discrepância de altura com a cerâmica.

A diferença de altura entre os substratos cimento-cerâmica e esmalte-cimento também apresentam resultado estatisticamente significativo em T0,

com valores maiores para o RRA, podendo ser justificado pela falha do tipo cimento exposto encontrada em 54,4% das interfaces de RRA, gerando um maior volume de cimento.

Contudo após o ciclo erosivo esta diferença estatisticamente significativa desaparece, podendo ser atribuída a perda de volume do material de cimentação e do esmalte quando expostas a soluções com pH ácido [52,61]. Na análise intragrupo os valores das medianas aumentaram entre T0 e T2 para todas as variáveis, com diferença estatisticamente significativa, evidenciando que houve maior erosão em um dos substratos.

A avaliação por OCT permitiu observar que a maioria das amostras de CR não apresentava alterações na linha de cimentação, enquanto a maioria do RRA apresentou espaço vazio ou linha branca intensa, indicando que não houve um adequado preenchimento das irregularidades da superfície interna do laminado, devido possivelmente ao aumento da viscosidade da resina gerada pela perda de calor durante a sua manipulação [51].

Falhas como bolhas e espaços vazios podem ser vistos, independentemente do tipo de cimentos resinoso utilizado [39], tais regiões consistem de pontos de tensão que podem provocar a fratura do laminado [52].

A frequência de alterações observadas na região da interface esmalte-laminado, mostrou-se estatisticamente significativas entre CR e RRA ($p < 0,001$). No RA, a maioria das amostras não apresentava alterações na região de interface em T0 ($n = 31$; 34,4%) porém aproximadamente 29% apresentou batente na interface enquanto que no RRA esta alteração foi de 6,7%, sendo a variável cimento exposto a mais prevalente 54,4% neste grupo. A interface de cimentação é sempre suscetível à falhas que podem causar pigmentação da restauração, sensibilidade, infiltração e, conseqüentemente, cárie [39].

A contração de polimerização sofrida pelos cimentos resinosos, pode levar ao rompimento da união entre a faceta indireta e o substrato dentário [53] e levar a formação de gaps e desajustes no interior da interface cimentada [54]. As resinas restauradoras, com maior quantidade de cargas, que os cimentos resinosos, apresentam maior viscosidade [55], mesmo quando aquecidas, o que dificulta o assentamento do laminado, aumentando a quantidade de material exposto na interface.

Após o ciclo erosivo, os grupos analisados apresentaram uma diminuição no número de interfaces sem alteração 14,4% e 8,9% respectivamente, as variáveis cimento exposto e depressão/batente sofreram um aumento considerável. Esse potencial erosivo é decorrente da lixiviação de componentes não reagidos e a degradação da rede polimérica [56].

A exposição a soluções com baixo pH causam danos irreversíveis aos tecidos dentais duros e deterioração precoce das restaurações dentárias [34]. Materiais restauradores indiretos expostos a soluções ácidas apresentam maior grau de infiltração que pode levar à pigmentação e insucesso da restauração [50].

Todos os laminados cimentados com Variolink apresentaram espessura da linha de cimentação adequada com base na norma ISO 4049, que orienta que o agente de cimentação forme película com espessura máxima de 50 μm , enquanto que o aquecimento da resina restauradora, não foi capaz de promover uma linha de cimentação adequada, pois a maior porcentagem de cargas inorgânicas contidas nas resinas restauradoras influencia a sua maior viscosidade e menor fluidez, refletindo em um maior volume de material na linha de cimentação [54,55].

A espessura da linha de cimentação do RRA (Me 110 μm) foi superior a do CR (Me 50mm), mostrando diferença estatisticamente significativa, o mesmo resultado foi encontrado por Sampaio *et al.* [57], que mensurou a linha de cimentação de laminados cerâmicos cimentados com cimento resinoso e resina aquecida, através de tomografia computadorizada tridimensional (3D) (μCT). O tempo gasto para retirar a resina do dispositivo de aquecimento, até a sua polimerização pode resfriar o material de modo que sua viscosidade não se mantenha adequada para formar uma linha de cimentação com a espessura desejada [51].

Na região de interface o valor de W (largura do defeito), apresentou diferença estatisticamente significativa entre os grupos tanto em T0 ($p = 0,002$) como em T2 ($p = 0,022$), o maior valor da mediana (Me) para W no RRA pode ser devido ao não assentamento adequado do laminado ocasionado pela maior viscosidade da resina restauradora, deixando um maior volume de material exposto na interface. Os cimentos são os compostos resinosos com

menor percentual de carga de partículas inorgânicas [55,58], e existe uma relação inversa entre viscosidade e percentual de carga [59].

O valor de *h* (altura do defeito) mostrou diferença estatisticamente significativa entre CR e RRA em T2, após o desafio erosivo o valor da mediana (*Me*) de *h* foi maior para o CR, mostrando uma maior tendência de dissolução do cimento resinoso. Substâncias ácidas, sejam de origem intrínseca ou extrínseca, promovem mudanças nas propriedades físicas e mecânicas dos materiais restauradores [29-36]. A maior quantidade de partículas de carga das resinas restauradoras, aumenta o grau de conversão dos monômeros e conseqüentemente melhora suas propriedades físicas e mecânicas [7, 9-17].

Diferentes técnicas de mensuração do gap interferem nos seus valores, podendo não ser eficientes para descrever aumento ou diminuição significativa nos valores do gap [60]. Neste estudo os valores de *W* e *h* estão dentro de um padrão clinicamente aceitável de acordo com Guess *et al.* [61], que considera como exigências clínicas um ajuste marginal de 100 µm.

Neste estudo a termociclagem não causou alterações significativas na linha de cimentação e na interface das amostras analisadas, Guess *et al.* [61] também não observou nenhuma diferença estatisticamente significativa antes e depois da exposição à ciclagem termo-mecânica.

A termociclagem é um dos procedimentos mais utilizados para simular o envelhecimento fisiológico no qual os biomateriais são submetidos na prática clínica [61-64]. Entretanto, não há consenso na literatura detalhando o método mais adequado para o envelhecimento de compósitos e cerâmicas. Muitos estudos utilizam a termociclagem com certa consistência no parâmetro temperatura (5°C – 55°C) e grande variabilidade no número de ciclos (500, 1000, 6000, 10000) e tempo de banho (5s, 15s, 30s), o que dificulta a comparação entre estudos [65].

Conclusão

A solução ácida gerou aumento significativo na rugosidade dos materiais e aumentou as falhas na interface esmalte-cimento-cerâmica para os dois grupos analisados. O aquecimento da resina restauradora não foi suficiente para formar uma película de cimentação adequada. Os valores das falhas mensuradas na interface de união estavam dentro do limite clinicamente

aceitável. A contínua exposição da linha de cimentação, à solução ácida, em pacientes com refluxo gastroesofágico, pode levar ao insucesso a curto prazo da restauração.

Agradecimentos

A todas as instituições que disponibilizaram seus laboratórios e equipamento tornando possível a realização deste estudo: Laboratório de Prótese Dentária da Escola Técnica de Saúde da UFPB, Laboratório de Pesquisa em Biomateriais do Núcleo de Estudos e Pesquisas Interdisciplinares em Biomateriais (NEPIBIO) da UFPB, Laboratório Multiusuário de Pesquisa em Materiais (LMPM), da Faculdade de Odontologia de Pernambuco (FOP), Laboratório de Fotônica do Departamento de Física da UFPE, Laboratório Integrado de Biomateriais do Programa de Pós Graduação em Odontologia da UFPB, Laboratório de Processos Microbianos em Alimentos do Centro de Tecnologia da UFPB; Laboratório LAPD, de iniciativa privada.

Conformidade com padrões éticos

Conflito de interesse: Os autores declaram não ter conflito de interesse.

Aprovação ética: Este artigo não envolve estudos com a participação de seres humanos ou qualquer outro tipo de animais.

Consentimento informado: Para este tipo de estudo, não é necessário consentimento formal.

Referências

1. Althman Y, Bamasoud MS (2018) Success of dental veneers according to preparation design and material type. Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences 6: 2402–2240
2. Lin CL, Kuo WC, Chang YH, Yu JJ, Lin Y C (2014) Examination of ceramic/enamel interfacial debonding using acoustic emission and optical coherence tomography. Dental Materials 30: 910–916

3. Pegoraro TA, Da Silva NR, Carvalho RM (2007) Cements for use in esthetic dentistry. *Dental Clinics of North America* 51: 453-71
4. Braz A, Kyotoku B, Braz R, Gomes A (2009) Evaluation of crack propagation in dental composites by optical coherence tomography. *Dental Materials* 25: 74–79
5. Dikshit S, Grover HS, Bhardwaj A, Saini R (2015) Optical Coherence Tomography-A Boon for Dental Diagnostics. *British Biomedical Bulletin* 3: 239–252
6. Claminia JR, Claminia CS (2007) Porcelain laminate veneers: reasons for 25 years of success. *Dental Clinics of North America* 51: 399-417
7. Helvey GA (2009) Porcelain laminate veneer insertion using a heated composite technique. *Inside Dentistry* 9: 38-45
8. Almeida JR, Schmitt GU, Kaizer MR, Bascato N, Moraes RR (2015) Resin-based luting agents and color stability of bonded ceramic veneers. *Journal of Prosthetic Dentistry* 114: 272-277
9. Baroudi K, MAHMOUD SR (2015) Improving Composite Resin Performance Through Decreasing its Viscosity by Different Methods. *The Open Dentistry Journal* 9: 235-242
10. Rickman LJ, Padipatvuthikul P, Chee B (2011) Clinical applications of preheated hybrid resin composite. *British Dental Journal* 211: 63-67
11. Blalock JS, Holmes RG, Rueggeberg FA (2006) Effect of temperature on unpolymerized composite resin film thickness. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 96: 424-443
12. Wagner WC, Aksu MN, Neme AL, Linger JB, Pink FE, Walker S (2008) Effect of Pre-heating Resin Composite on Restoration Microleakage. *Operative Dentistry* 33: 72-78
13. Prieto LT, Souza-Júnior EJ, Araújo CTP, LIMA AF, DIAS CT, PAULILLO LAMS (2011) Nanoleakage evaluation of resin luting systems to dental enamel and leucite-reinforced ceramic. *Microscopy Research and Technique* 75: 671–676
14. Tauböcka TT, Tarleb Z, Marovic BD, Attina T (2015) Pre-heating of high-viscosity bulk-fill resin composites: Effects on shrinkage force and monomer conversion. *Journal of Dentistry* 43: 1358–1364

15. D' Arcangelo C, De Angelis F, Vadini M, D'Amario M (2012) Clinical evaluation on porcelain laminate veneers bonded with light-cured composite: results up to 7 years. *Clinical Oral Investigations* 16: 1071–1079
16. Ayub KV, Santos GC, Rizkalla AS, Bohay, R, Pegoraro LF, Rubo JH, Santos MC (2014) Effect of preheating on microhardness and viscosity of 4 resin composites. *Journal of the Canadian Dental Association* 80: 1-8
17. Borges BCD, De Assunção IV, De Aquino CA, De Melo Monteiro GQ, Gomes ASL (2016) Marginal and internal analysis of preheated dental fissure-sealing materials using optical coherence tomography. *International Dental Journal* 66: 23–28
18. Rosensitel SF, Land, MF, Crispin, BJ (1998) Dental luting agents: a review of current literature. *Journal of Prosthetic Dentistry* 80: 280-300
19. Bagheri R, Burrow M F, Tyas M (2005) Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *Journal of Dentistry* 33: 389-398
20. Heintze SD, Ruffieux C, Rousson V (2010) Clinical performance of cervical restorations: a meta-analysis. *Dental Materials* 26: 993–1000
21. Mounajjed RDML, Azar B (2016) The marginal fit of E.max Press and E.max CAD lithium disilicate restorations: a critical review. *Dental Materials J* 35: 835–844
22. Brendeke J, Ozcan M (2007) Effect of physicochemical aging conditions on the composite-composite repair bond strength. *The Journal of Adhesive Dentistry* 9: 399-406
23. Luhrs AK, Guhr S, Günay H, Geurtsen W (2010) Shear bond strength of self-adhesive resins compared to resin cements with etch and rinse adhesives to enamel and dentin in vitro. *Clinical Oral Investigations* 14: 193-199
24. Liu Q, Meng X, Yoshida K, Luo X (2011) Bond degradation behavior of self-adhesive cement and conventional resin cements bonded to silanized ceramic. *Journal of Prosthetic Dentistry* 105: 177-184
25. Hy M (2012) Sorption and solubility characteristics of self-adhesive resin cements. *Dental Materials* 28: 187-98
26. Lauvahutanon S, Takahashi H, Shiozawa M, Iwasaki N, Asakawa Y, Oki M (2014) Mechanical properties of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dental Materials J* 33: 705-710

27. Blumer L, Schmidli F, Weiger R, Fischer J (2015) A systematic approach to standardize artificial aging of resin composite cements. *Dent Mater* 31: 855-863
28. Bürgin S, Rohr N, Fischer J (2017) Assessing degradation of composite resin cements during artificial aging by Martens hardness. *Head & Face Medicine* 13: 2-7
29. Braga SEM, De Faria DLA, De Oliveira E, Sobral MAP (2011) Morphological and mineral analysis of dental enamel after erosive challenge in gastric juice and orange juice. *Microscopy Research and Technique* 74: 1083-1087
30. Junpoom P, Kukiattrakoon B, Hengtrakool C (2011) Flexural strength of fluorapatite-leucite and fluorapatite porcelains exposed to erosive agents in cyclic immersion. *Journal of Applied Oral Science* 19: 95-99
31. Turp V, Tuncelli B, Sen D, Goller G (2012) Evaluation of hardness and fracture toughness, coupled with microstructural analysis, of zirconia ceramics stored in environments with different pH values. *Dental Materials J* 31: 891-902
32. West NX, Joiner A (2014) Enamel mineral loss. *Journal of Dentistry* 42: S2-S11
33. Moazzez R, Bartlett D (2014) Intrinsic causes of erosion. *Monographs in Oral Science* 25: 180–196
34. Rajavardhan K, Sankar AJS, Kumar MGM, Kumar KR, Pranitha K, Kishore KK (2014) *Erosive* potential of cola and orange fruit juice on tooth colored restorative materials. *Annals of Medical and Health Science Research* 4: 208-212
35. Tantanuch S, Kukiattrakoon B, Peerasukprasert T, Chanmanee N, Chaisomboonphun P, Rodklai A (2016) Surface roughness and erosion of nanohybrid and nanofilled resin composites after immersion in red and white wine. *Journal of Conservative Dentistry* 19: 51-55
36. Albuquerque Guedes A P, Oliveira-Reis B, Catelan A, Suzuki TY, Briso ALF, Dos Santos PH (2018) Mechanical and surface properties analysis of restorative materials submitted to erosive challenges in situ. *European Journal of Dentistry* 12: 559-565
37. Maia AMA, De Freitas AZ, Campello SL, Gomes ASL, Karlsson L (2015) Evaluation of dental enamel caries assessment using Quantitative Light

Induced Fluorescence and Optical Coherence Tomography. *Journal of Biophotonics* 9: 596–602

38. Mota CC, Guerra BA, Machado BS, Cabral AJ, Gomes AS (2015) Optical coherence tomography applied to the evaluation of wear of composite resin for posterior teeth. *Proceedings of SPIE Biophysics Symposium America 9531*: 95313I

39. Dias TJC, Mota CCBO, Fernandes LO, Silva PFC, Campelo SL, Melo LSA, Pires NSM, Gomes ASL (2018) Optical coherence tomography in evaluation of Veneer's cementation layer. *Dental Materials* 34: e42-e43

40. Gabor A, Jivanescu A, Zaharia C, Hategan S, Topala FI, Levai CM, Negrutiu, ML, Sinescu C, Duma VF, Brad A, Podoleanu AG (2016) OCT evaluation of single ceramic crowns: comparison between conventional and chair-side CAD/CAM technologies. *Sixth International Conference on Lasers in Medicine* 9670: 96700Z-1

41. Wenhao L, Jingming L, Zhenting Z (2018) Evaluation of marginal gap of lithium disilicate glass ceramic crowns with optical coherence tomography. *Journal of Biomedical Optics* 23: 036001

42. Madaras CA, Sinescu C, Negrutiu ML, Clonda CS, Rominu M, Ionita C, Antoniac A, Podoleanu AG (2014) Material Defects in Ceramic Crowns Identification by Optical Coherence Tomography and MicroCT. *Key Engineering Materials* 614: 124–133

43. Duma VF, Sinescu C, Bradu A, Podoleanu A (2019) Optical Coherence Tomography Investigations and Modeling of the Sintering of Ceramic Crowns. *Materials* 12: 2-23

44. Fernandes LO, Graça NDRL, Melo LSA, Silva CHV, Gomes ASL (2016) Optical coherence tomography investigations of ceramic lumineers. *Lasers in Dentistry XXII* 9692: 96920

45. Park JM, Hämmerle CHF, Benic GI (2017) Digital technique for in vivo assessment of internal and marginal fit of fixed dental prostheses. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 118: 452–454

46. Oliveira GC, Tereza GPG, Boteon AP, Ferrairo BM, Gonçalves PSP, Silva TC, Honório MF, Rios D (2017) Susceptibility of bovine dental enamel with initial erosion lesion to new erosive challenges. *PLoS ONE* 12: e0182347

47. Daibs BDP, Silva JMF, Rocha DM, Fernandes Jr VVB, Rodrigues JR (2012) Microstructural analysis of restorative materials submitted to acid exposure. *Brazilian Dental Science*.15: 19-26.
48. Junpoom P, Kukiattrakoon B, Hengtrakool C (2010) Surface characteristic changes of dental ceramics after cyclic immersion in acidic agents and titratable acidity. *European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry* 18: 177-84.
49. Kukiattrakoon B, Hengtrakool C, Kedjarune-Leggat U (2010) Chemical durability and microhardness of dental ceramics immersed in acidic agents. *Acta Odontologica Scandinavica* 68: 1-10
50. Thulfiqar AH, Wan ZWB, Zuryati AG, Dasmawati M (2014) The assessment of surface roughness and microleakage of eroded tooth-colored dental restorative materials. *Journal of Conservative Dentistry* 17: 531-535
51. Daronch M, Rueggeberg FA, Moss L, De Goes MF (2006) Clinically relevant issues related to preheating composites. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 18: 340- 350.
52. Bakhsh TA, Sadr A, Shimada Y, Tagami J, Sumi Y (2011) Non-invasive quantification of resin-dentin interfacial gaps using optical coherence tomography: validation against confocal microscopy. *Dental Materials* 27: 915–925
53. Badini SRG, Tavares ACS, Guerra MAL, Dias NF, Vieira CD (2008) Cimentação adesiva – Revisão de literatura Adhesive strengthen – Literature review. *Revista Odonto* 16: 105–115
54. Ferracane JL, Hilton TJ (2016) Polymerization stress--is it clinically meaningful? *Dental Materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 32: 1–10
55. Spazzin AO, Guarda GB, Oliveira-Ogliari A, Correr-Sobrinho FL, Moraes R R (2016) Strengthening of porcelain provided by resin cements and flowable composites. *Operative Dentistry* 41:179-188
56. Medeiros IS, Gomes MN, Loguercio AD, Filho LE (2007) Diametral tensile strength and Vickers hardness of a composite after storage in different solutions. *Journal of Oral Sci* 49: 61-66
57. Sampaio CS, Barbosa JM, Cáceres E, Rigo LC, Coelho PG, Bonfante EA, Hirata R (2016) Volumetric shrinkage and film thickness of cementation

materials for veneers: An in vitro 3D microcomputed tomography analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 117: 784-791

58. Babu MR, Ravikiran V, Vinod V, Saraswathi D, Rao VN (2012) Comparative analysis for selection of resin luting cements based on filler content: an in vitro study. *Journal Contemporary Dental Practice* 13: 481-486

59. Deb S, Di Silvio L, Mackler HE, Millar BJ (2011) Pre-warming of dental composites. *Dental Materials* 27: 51-59

60. Peroz I, Mitsas T, Erdelt K, Kopsahilis N (2018) Marginal adaptation of lithium disilicate ceramic crowns cemented with three different resin cements. *Clinical Oral Investigations*. doi:10.1007/s00784-018-2438-6

61. Guess PC, Vagkopoulou T, Zhang Y, Wolkewitz M, Strub JR (2014) Marginal and internal fit of heat pressed versus CAD/CAM fabricated all-ceramic onlays after exposure to thermo-mechanical fatigue. *Journal of Dentistry* 42: 199–209

62. Khoroushi M, Rafiei E (2013) Effect of thermocycling and water storage on bond longevity of two self-etch adhesives. *General Dentistry* 61: 39-44

63. Deng D, Yang H, Guo J, Chen X, Zhang W, Huang C (2014) Effects of different artificial ageing methods on the degradation of adhesive-dentine interfaces. *Journal of Dentistry* 42:1577-1585

64. Cotes C, Cardoso M, Melo RM, Valandro LF, Bottino MA (2015) Effect of composite surface treatment and aging on the bond strength between a core build-up composite and a luting agent. *Journal of Applied Oral Science* 23: 71-78

65. Morresi AL, D'amario M, Capogreco M, Gatto R, Marzo G, D'arcangelo C (2014) Thermal cycling for restorative materials: does a standardized protocol exist in laboratory testing? A literature review. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 29: 295-308

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores de Ra das superfícies analisadas por perfilômetro óptico não sofreram alteração estatisticamente significativa após a ciclagem térmica, com exceção do esmalte. Após a exposição à solução ácida houve um aumento considerável na rugosidade das superfícies do esmalte e materiais restauradores. Analisando os gráficos da superfície dos substratos, gerados pelo perfilômetro observou-se que a superfície da cerâmica foi a que menos sofreu erosão.

A Tomografia por Coerência Óptica (OCT), é um excelente método para análise da interface de união e da linha de cimentação, permitindo neste estudo avaliar as suas falhas. O cimento resinoso e a resina restauradora aquecida apresentaram falhas na interface de união com dimensões aceitáveis clinicamente. No grupo dos laminados cimentados com resina restauradora aquecida verificou-se apenas 20% das amostras sem falhas na linha de cimentação, e mais da metade apresentou exposição do agente de cimentação na interface de união, o que pode favorecer o processo de infiltração. A ciclagem térmica não ocasionou mudanças significativas na interface de união e linha de cimentação, já após a ciclagem erosiva o número de falhas na interface aumentou para os dois grupos.

A espessura inadequada da linha de cimentação e a grande quantidade de cimento exposto na interface do RRA, são consequência do não assentamento adequado do laminado cerâmico durante o processo de cimentação, a contínua exposição da linha de cimentação, à solução ácida, em pacientes com refluxo gastroesofágico, pode levar ao insucesso à curto prazo da restauração.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE GUEDES, A. P.; OLIVEIRA-REIS, B.; CATELAN, A.; SUZUKI TY, T. Y. U.; BRISO, A. L. F.; DOS SANTOS, P. H. Mechanical and surface properties analysis of restorative materials submitted to erosive challenges in situ. **European Journal of Dentistry**, v. 12, p. 559-65, 2018. doi: 10.4103/ejd.ejd_188_18

AMOROSO, Andressa Paschoal; FERREIRA, Mayara Barbosa; TORCATO, Leonardo Bueno; PELLIZZER, Eduardo Piza; MAZARO, José Vitor Quinelli; GENNARI FILHO, Humberto. Cerâmicas odontológicas: propriedades, indicações e considerações clínicas. **Revista Odontológica de Araçatuba**, Araçatuba, v. 33, n. 2, p. 19-25, 2012.

AYUB, K. V.; SANTOS, G. C.; RIZKALLA, A. S.; BOHAY, R.; PEGORARO, L. F.; RUBO, J. H.; SANTOS, M. C. Effect of preheating on microhardness and viscosity of 4 resin composites. **Journal of the Canadian Dental Association**, v.80, n. e12, p.1-8, 2014.

BAGHERI, R.; BURROW, M. F.; TYAS, M. Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. **Journal of Dentistry**, v. 33, n. 5, p. 389-98, 2005.

BAKHSH, T. A.; SADR, A.; SHIMADA, Y.; TAGAMI, J.; SUMI, Y. Non-invasive quantification of resin-dentin interfacial gaps using optical coherence tomography: validation against confocal microscopy. **Dental Materials Journal**, v.27, n.9, p. 915–925, 2011.

BAROUDI, K.; MAHMOUD, S. R. Improving Composite Resin Performance Through Decreasing its Viscosity by Different Methods. **The Open Dentistry Journal**, v. 9, p. 235-242, 2015. doi: 10.2174/1874210601509010235

BLUMER, L.; SCHMIDLI, F.; WEIGER, R.; FISCHER, J. A systematic approach to standardize artificial aging of resin composite cements. **Dental Materials**, v. 31, n.7, p. 855-63, 2015.

BORGES, B. C. D.; DE ASSUNÇÃO, I. V.; DE AQUINO, C. A.; DE MELO MONTEIRO, G. Q.; GOMES, A. S. L. Marginal and internal analysis of preheated dental fissure-sealing materials using optical coherence tomography. **International Dental Journal**, v. 66, n. 1, p.23–28, 2016. doi:10.1111/idj.12191

BORTOLOTTO, T.; BAHILLO, J.; RICHOS, O.; HAFEZI, F.; KREJCI, I. Failure analysis of adhesive restorations with SEM and OCT: From marginal gaps to restoration loss, **Clinical Oral Investigations**, v. 19, p. 1881–1890, 2015.

BRENDEKE, J.; OZCAN, M. Effect of physicochemical aging conditions on the composite composite repair bond strength. **The Journal of Adhesive Dentistry**, v.9, n.4, p. 399-406, 2007.

BÜRGIN, S.; ROHR, N.; FISCHER, J. Assessing degradation of composite resin cements during artificial aging by Martens hardness. **Head & Face Medicine**, v. 13, n. 1, 2017. doi:10.1186/s13005-017-0142-4

D' ARCANGELO, C.; DE ANGELIS, F.; VADINI, M.; D'AMARIO, M. Clinical evaluation on porcelain laminate veneers bonded with light-cured composite: results up to 7 years. **Clinical Oral Investigations**, v. 16, n. 4, p. 1071–1079, 2012.

DIKSHIT, S.; GROVER, H. S.; BHARDWAJ, A.; SAINI, R. Optical Coherence Tomography-A Boon for Dental Diagnostics. **British Biomedical Bulletin**, v. 3, n. 2, p.239–252, 2015.

DUMA, V. F.; SINESCU, C.; BRADU, A.; PODOLEANU, A. Optical Coherence Tomography Investigations and Modeling of the Sintering of Ceramic Crowns. **Materials**, v. 12, n. 6, p. 947, 2019. doi:10.3390/ma12060947.

FERNANDES, L. O.; GRAÇA, N. D. R. L.; MELO, L. S. A.; SILVA, C. H. V.; GOMES, A. S. L. Optical coherence tomography investigations of ceramic lumineers. **Lasers in Dentistry XXII**, v. 9692, p. 96920, 2016. doi:10.1117/12.2213672

FERREIRA, I. G. M. **Cimentos resinosos auto adesivos**. Monografia (Especialização em Dentística), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

FREITAS, A. Z.; ZECELL, D. M.; MAYER, M. P. A.; RIBEIRO, A. C.; GOMES, A. S. L.; VIEIRA JR, N. D. Determination of dental decay rates with optical coherence tomography. **Laser Physics**, v. 6, n. 12, p. 896-900, 2009.

GABOR, A.; JIVANESCU, A.; ZAHARIA, C.; HATEGAN, S.; TOPALA, F. I.; LEVAI, C. M.; NEGRUTIU, M. L.; SINESCU, C., DUMA, V. F.; BRADU, A.; PODOLEANU, A. G. OCT evaluation of single ceramic crowns: comparison between conventional and chair-side CAD/CAM technologies. **Sixth International Conference on Lasers in Medicine**, v. 9670 96700Z-1, 2016. doi:10.1117/12.2191907

HAN, S. H.; SADR, A.; TAGAMI, J.; PARK, S.H. Internal adaptation of resin composites at two configurations: Influence of polymerization shrinkage and stress. **Dental Materials**, v. 32, n. 9, p. 1085–1094, 2016. doi:10.1016/j.dental.2016.06.005

HUANG, B.; SIQUEIRA, W.L.; CVITKOVITCH, D.G.; FINER, Y.; Esterase from a cariogenic bacterium hydrolyzes dental resins. **Acta Biomaterials** 2018;71:330–338.

ISHIBASHI, K.; OZAWA, N.; TAGAMI, J.; SUMI, Y. Swept-source optical coherence tomography as a new tool to evaluate defects os resin-based composite restorations. **Journal of Dentistry**, v. 39, n. 8, p. 543-548, 2011. doi.org/10.1016/j.jdent.2011.05.005

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica: técnicas de pesquisa**. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MAIA, A. M. A.; DE FREITAS, A. Z.; CAMPELLO, S. L.; GOMES, A. S. L.; KARLSSON, L. Evaluation of dental enamel caries assessment using Quantitative Light Induced Fluorescence and Optical Coherence Tomography. **Journal of Biophotonics**, v. 9, n. 6, p. 596–602, 2015. doi:10.1002/jbio.201500111.

MAKISHI, P.; SHIMADA, Y.; SADR, A.; TAGAMI, J.; SUMI, Y. Non-destructive 3D imaging of composite restorations using optical coherence tomography: marginal adaptation of self-etch adhesives. **Journal of Dentistry**, v. 39, n. 4, p.316–325, 2011. doi.org/10.1016/j.jdent.2011.01.011

MAKISHI, P.; THITTHAWEERAT, S.; SADR, A. Assessment of current adhesives in class I cavity: nondestructive imaging using optical coherence tomography and microtensile bond strength, **Dental Materials**, v. 31, p. e190–e200, 2015.

MOAZZEZ, R.; BARTLETT, D. Intrinsic causes of erosion. **Monographs in Oral Science**, v. 25, p.180–196, 2014.

MONTEIRO, G. Q. M.; MONTES, M. A. J. R.; GOMES, A. S. L.; MOTA, C. C. B. O.; CAMPELLO, S. L.; FREITAS, A. Z. Marginal analysis of resin composite restorative systems using optical coherence tomography. **Dental Materials**, v. 27, n. 12, p. 213-23, 2011. org/10.1016/j.dental.2011.08.400

MOTA, Cláudia Cristina Brainer de Oliveira ; GUEIROS, Luiz Alcino; MAIA, Ana Marly Araújo; SANTOS-SILVA, Alan Roger; GOMES, Anderson Stevens Leonidas; ALVES, Fábio de Abreu; LEÃO, Jair Carneiro; FREITAS, Anderson Zanardi de; GOES, Mário; LOPES, Márcio Ajudarte. Optical coherence tomography as an auxiliary tool for the screening of radiation-related caries. **Photomedicine and Laser Surgery**, v. 31, n. 7, p. 301-306, 2013.

MOTA, C. C.; GUERRA, B. A.; MACHADO, B. S.; CABRAL, A.J.; GOMES, A.S. Optical coherence tomography applied to the evaluation of wear of composite resin for posterior teeth. **Proceedings of SPIE Biophysics Symposium America**, vol. 9531, article 95313I, 2015.

OLIVEIRA, G. C., TEREZA, G. P. G.; BOTEON, A. P., FERRAIRO, B.M., GONCÉALVES, P.S.P., SILVA, TCD, et al. Susceptibility of bovine dental enamel with initial erosion lesion to new erosive challenges. **Public Library of Science**, v. 12, n.8: e0182347, 2017.

PARK, J. M.; HÄMMERLE, C. H. F.; BENIC, G. I. Digital technique for in vivo assessment of internal and marginal fit of fixed dental prostheses. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 118, n.4, p. 452–454, 2017. doi:10.1016/j.prosdent.2016.12.016

PARK, K. J.; SCHNEIDER, H.; HAAK, H. Assessment of defects at tooth/self-adhering flowable composite interface using swept-source optical coherence tomography (SS-OCT). **Dental Materials**, v. 31, p. 534–541, 2015.

PRIETO, L. T.; SOUZA-JÚNIOR, E. J.; ARAÚJO, C. T. P.; LIMA, A. F.; DIAS, C. T.; PAULILLO, L. A. M. S. Nanoleakage evaluation of resin luting systems to dental enamel and leucite-reinforced ceramic. **Microscopy Research and Technique**, v.75, n.5, p.671–676, 2011. doi:10.1002/jemt.21110

RICKMAN, L. J.; PADIPATVUTHIKUL, P.; CHEE, B. Clinical applications of preheated hybrid resin composite. **British Dental Journal**, v. 211, n.2, p. 63-67, 2011.

SKUPIEN, J.; PORTO, J.; MÜNCHOW, E.; CENCI, M.; PEREIRA-CENCI, T. Impairment of resin cement application on the bond strength of indirect composite restorations. **Brazilian Oral Research**, v. 29, n. 1, p. 1-7, 2015. doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2015.vol29.0066.

SUASSUNA, Fernanda Clotilde Mariz; MAIA, ana marly araujo ; MELO, Daniela Pita ; ANTONINO, Antônio Celso Dantas ; GOMES, Anderson Stevens Leônidas; BENTO, Patrícia Meira . Comparison of microtomography and optical coherence tomography on apical endodontic filling analysis. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 47, p. 20170174, 2018. doi:10.1259/dmfr.20170174

TAUBÖCK, T. T.; TARLE, Z.; MAROVIC, D.; ATTIN, T. Pre-heating of high-viscosity bulk-fill resin composites: Effects on shrinkage force and monomer conversion. **Journal of Dentistry**, v. 43, n. 11, p.1358–1364, 2015. doi:10.1016/j.jdent.2015.07.014 A. G.

TURKISTANI, A.; NAKASHIMA, S.; SHIMADA, Y.; TAGAMI, J.; SADR, A. Microgaps and Demineralization Progress around Composite Restorations. **Journal of Dental Research**, v. 94, n. 8, p.1070–1077, 2015. doi:10.1177/0022034515589713

TURKISTANI, A.; SADR, A.; SHIMADA, Y.; NIKAIDO, T.; SUMI, Y.; TAGAMI, J. Sealing performance of resin cements before and after thermal cycling: evaluation by optical coherence tomography. **Dental Materials**, v. 30, n. 9, p. 993–1004, 2014. doi.org/10.1016/j.dental.2014.05.010

WANG, C.; LI, Y.; WANG, X.; ZHANG, L.; TIANTANG; FU, B. The Enamel Microstructures of Bovine Mandibular Incisors. **The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology**, v. 295, n. 10, p. 1698–1706, 2012. doi.org/10.1002/ar.22543

WENHAO, L.; JINGMING, L.; ZHENTING Z. Evaluation of marginal gap of lithium disilicate glass ceramic crowns with optical coherence tomography. **Journal of Biomedical Optics**, v. 23, n. 3, p. 036001, 2018. doi: 10.1117/1.JBO.23.3.036001.

WEST, N. X.; JOINER, A. Enamel mineral loss. **Journal of Dentistry**, v. 42
Suppl 1, p. S2-S11, 2014. [org/10.1016/S0300-5712\(14\)50002-4](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(14)50002-4).

ANEXO A - NORMAS DE PUBLICAÇÃO DO PERIÓDICO CLINICAL ORAL INVESTIGATION

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Please follow the hyperlink “Submit online” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

Please ensure you provide all relevant editable source files. Failing to submit these source files might cause unnecessary delays in the review and production process.

Further Useful Information

please follow the link below

- [Further Useful Information](#)

The Springer Author Academy is a set of comprehensive online training pages mainly geared towards first-time authors. At this point, more than 50 pages offer advice to authors on how to write and publish a journal article.

- [Springer Author Academy](#)

Title Page

The title page should include:

- The name(s) of the author(s)
- A concise and informative title
- The affiliation(s) and address(es) of the author(s)
- The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract

Please provide a structured abstract of 150 to 250 words which should be divided into the following sections:

- Objectives (stating the main purposes and research question)
- Materials and Methods
- Results
- Conclusions
- Clinical Relevance

These headings must appear in the abstract.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Text

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

- Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
- Use italics for emphasis.
- Use the automatic page numbering function to number the pages.
- Do not use field functions.

- Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
- Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
- Use the equation editor or MathType for equations.
- Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

- [LaTeX macro package \(zip, 183 kB\)](#)

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page.

The names of funding organizations should be written in full.

References

Citation

Reference citations in the text should be identified by numbers in square brackets. Some examples:

1. Negotiation research spans many disciplines [3].
2. This result was later contradicted by Becker and Seligman [5].
3. This effect has been widely studied [1-3, 7].

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

The entries in the list should be numbered consecutively.

- Journal article
Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0955-8>
Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of "et al" in long author lists will also be accepted:
Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 965:325-329
- Article by DOI
Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med*. <https://doi.org/10.1007/s001090000086>
- Book
South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London
- Book chapter
Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) *The rise of modern genomics*, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257
- Online document
Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

- Dissertation
Trent JW (1975) Experimental acute renal failure. Dissertation, University of California
Always use the standard abbreviation of a journal's name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see
- [ISSN.org LTWA](#)
If you are unsure, please use the full journal title.
For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.
- [EndNote style \(zip, 2 kB\)](#)
Authors preparing their manuscript in LaTeX can use the bibtex file spbasic.bst which is included in Springer's LaTeX macro package.

Tables

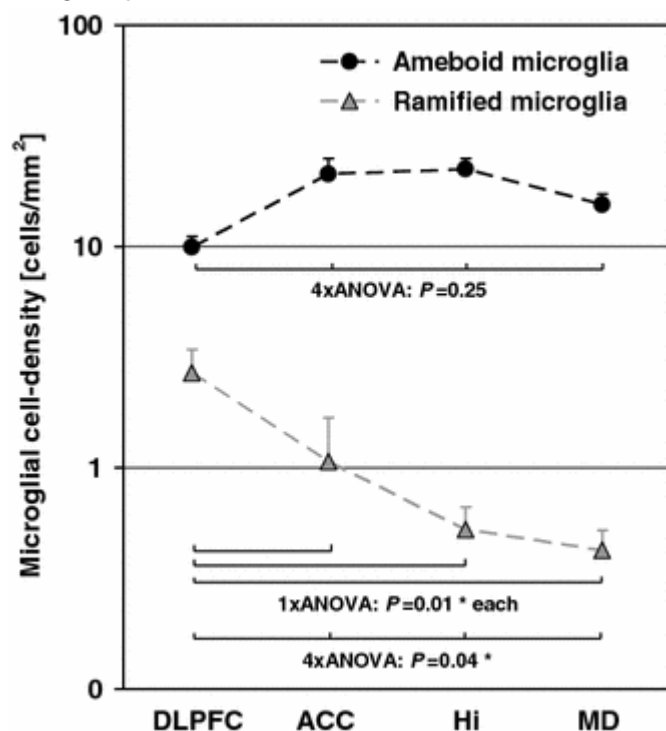
- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

Artwork and Illustrations Guidelines

Electronic Figure Submission

- Supply all figures electronically.
- Indicate what graphics program was used to create the artwork.
- For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.
- Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

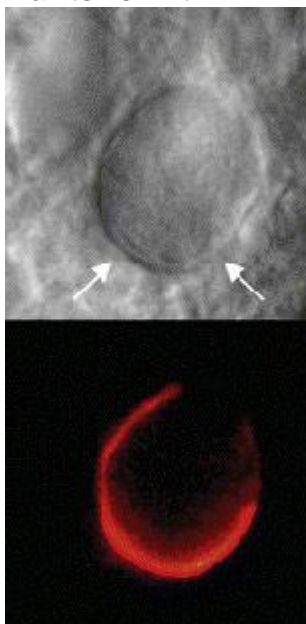
Line Art



- Definition: Black and white graphic with no shading.
- Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.

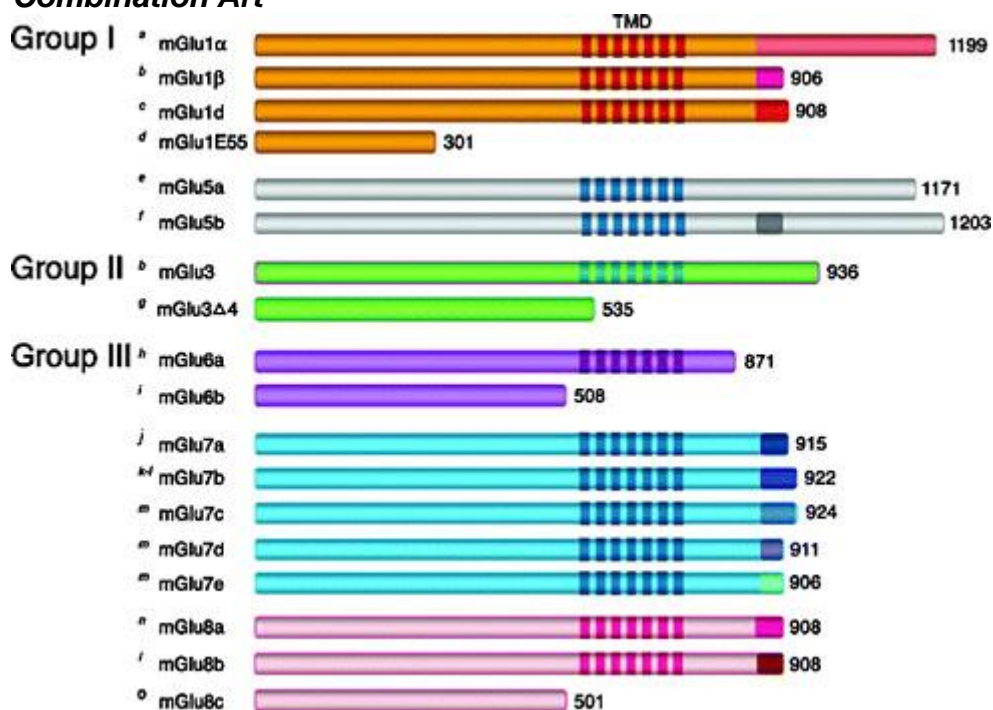
- All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.
- Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art



- Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.
- If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.
- Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art



- Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.
- Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

- Color art is free of charge for online publication.

- If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.
- If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.
- Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

- To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
- Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
- Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.
- Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
- Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

- All figures are to be numbered using Arabic numerals.
- Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.
- Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).
- If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

- Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.
- Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.
- No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.
- Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
- Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

- Figures should be submitted separately from the text, if possible.
- When preparing your figures, size figures to fit in the column width.
- For large-sized journals the figures should be 84 mm (for double-column text areas), or 174 mm (for single-column text areas) wide and not higher than 234 mm.
- For small-sized journals, the figures should be 119 mm wide and not higher than 195 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

- All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)
- Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (colorblind users would then be able to distinguish the visual elements)

- Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

Electronic Supplementary Material

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Before submitting research datasets as electronic supplementary material, authors should read the journal's Research data policy. We encourage research data to be archived in data repositories wherever possible.

Submission

- Supply all supplementary material in standard file formats.
- Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.
- To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

Audio, Video, and Animations

- Aspect ratio: 16:9 or 4:3
- Maximum file size: 25 GB
- Minimum video duration: 1 sec
- Supported file formats: avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp

Text and Presentations

- Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.
- A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

- Spreadsheets should be submitted as .csv or .xlsx files (MS Excel).

Specialized Formats

- Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting Multiple Files

- It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

- If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.
- Refer to the supplementary files as "Online Resource", e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4".
- Name the files consecutively, e.g. "ESM_3.mpg", "ESM_4.pdf".

Captions

- For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

- Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

- The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material
- Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)

Ethical Responsibilities of Authors

This journal is committed to upholding the integrity of the scientific record. As a member of the Committee on Publication Ethics (COPE) the journal will follow the COPE guidelines on how to deal with potential acts of misconduct.

Authors should refrain from misrepresenting research results which could damage the trust in the journal, the professionalism of scientific authorship, and ultimately the entire scientific endeavour. Maintaining integrity of the research and its presentation is helped by following the rules of good scientific practice, which include*:

- The manuscript should not be submitted to more than one journal for simultaneous consideration.
- The submitted work should be original and should not have been published elsewhere in any form or language (partially or in full), unless the new work concerns an expansion of previous work. (Please provide transparency on the re-use of material to avoid the concerns about text-recycling ('self-plagiarism').
- A single study should not be split up into several parts to increase the quantity of submissions and submitted to various journals or to one journal over time (i.e. 'salami-slicing/publishing').
- Concurrent or secondary publication is sometimes justifiable, provided certain conditions are met. Examples include: translations or a manuscript that is intended for a different group of readers.
- Results should be presented clearly, honestly, and without fabrication, falsification or inappropriate data manipulation (including image based manipulation). Authors should adhere to discipline-specific rules for acquiring, selecting and processing data.
- No data, text, or theories by others are presented as if they were the author's own ('plagiarism'). Proper acknowledgements to other works must be given (this includes material that is closely copied (near verbatim), summarized and/or paraphrased), quotation marks (to indicate words taken from another source) are used for verbatim copying of material, and permissions secured for material that is copyrighted.

Important note: the journal may use software to screen for plagiarism.

- Authors should make sure they have permissions for the use of software, questionnaires/(web) surveys and scales in their studies (if appropriate).
- Authors should avoid untrue statements about an entity (who can be an individual person or a company) or descriptions of their behavior or actions that could potentially be seen as personal attacks or allegations about that person.
- Research that may be misapplied to pose a threat to public health or national security should be clearly identified in the manuscript (e.g. dual use of research). Examples include creation of harmful consequences of biological agents or toxins, disruption of immunity of vaccines, unusual hazards in the use of chemicals, weaponization of research/technology (amongst others).
- Authors are strongly advised to ensure the author group, the Corresponding Author, and the order of authors are all correct at submission. Adding and/or deleting authors during the revision stages is generally not permitted, but in some cases may be warranted. Reasons for changes in authorship should be explained in detail. Please note that changes to authorship cannot be made after acceptance of a manuscript.

*All of the above are guidelines and authors need to make sure to respect third parties rights such as copyright and/or moral rights.

Upon request authors should be prepared to send relevant documentation or data in order to verify the validity of the results presented. This could be in the form of raw data, samples, records, etc. Sensitive information in the form of confidential or proprietary data is excluded.

If there is suspicion of misbehavior or alleged fraud the Journal and/or Publisher will carry out an investigation following COPE guidelines. If, after investigation, there are valid concerns, the author(s) concerned will be contacted under their given e-mail address and given an opportunity to address the issue. Depending on the situation, this may result in the Journal's and/or Publisher's implementation of the following measures, including, but not limited to:

- If the manuscript is still under consideration, it may be rejected and returned to the author.
- If the article has already been published online, depending on the nature and severity of the infraction:

- an erratum/correction may be placed with the article
- an expression of concern may be placed with the article
- or in severe cases retraction of the article may occur.

The reason will be given in the published erratum/correction, expression of concern or retraction note.

Please note that retraction means that the article is **maintained on the platform**, watermarked “retracted” and the explanation for the retraction is provided in a note linked to the watermarked article.

- The author’s institution may be informed
- A notice of suspected transgression of ethical standards in the peer review system may be included as part of the author’s and article’s bibliographic record.

Fundamental errors

Authors have an obligation to correct mistakes once they discover a significant error or inaccuracy in their published article. The author(s) is/are requested to contact the journal and explain in what sense the error is impacting the article. A decision on how to correct the literature will depend on the nature of the error.

This may be a correction or retraction. The retraction note should provide transparency which parts of the article are impacted by the error.

Suggesting / excluding reviewers

Authors are welcome to suggest suitable reviewers and/or request the exclusion of certain individuals when they submit their manuscripts. When suggesting reviewers, authors should make sure they are totally independent and not connected to the work in any way. It is strongly recommended to suggest a mix of reviewers from different countries and different institutions. When suggesting reviewers, the Corresponding Author must provide an institutional email address for each suggested reviewer, or, if this is not possible to include other means of verifying the identity such as a link to a personal homepage, a link to the publication record or a researcher or author ID in the submission letter. Please note that the Journal may not use the suggestions, but suggestions are appreciated and may help facilitate the peer review process.

Authorship principles

These guidelines describe authorship principles and good authorship practices to which prospective authors should adhere to.

Authorship clarified

The Journal and Publisher assume all authors agreed with the content and that all gave explicit consent to submit and that they obtained consent from the responsible authorities at the institute/organization where the work has been carried out, **before** the work is submitted.

The Publisher does not prescribe the kinds of contributions that warrant authorship. It is recommended that authors adhere to the guidelines for authorship that are applicable in their specific research field. In absence of specific guidelines it is recommended to adhere to the following guidelines*:

All authors whose names appear on the submission

- 1) made substantial contributions to the conception or design of the work; or the acquisition, analysis, or interpretation of data; or the creation of new software used in the work;
- 2) drafted the work or revised it critically for important intellectual content;
- 3) approved the version to be published; and
- 4) agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

* Based on/adapted from:

- ICMJE, Defining the Role of Authors and Contributors,
- Transparency in authors’ contributions and responsibilities to promote integrity in scientific publication, McNutt at all, PNAS February 27, 2018

Disclosures and declarations

All authors are requested to include information regarding sources of funding, financial or non-financial interests, study-specific approval by the appropriate ethics committee for research involving humans and/or animals, informed consent if the research involved human participants, and a statement on welfare of animals if the research involved animals (as appropriate).

The decision whether such information should be included is not only dependent on the scope of the journal, but also the scope of the article. Work submitted for publication may have implications for public health or general welfare and in those cases it is the responsibility of all authors to include the appropriate disclosures and declarations.

Data transparency

All authors are requested to make sure that all data and materials as well as software application or custom code support their published claims and comply with field standards. Please note that journals may have individual policies on (sharing) research data in concordance with disciplinary norms and expectations. Please check the Instructions for Authors of the Journal that you are submitting to for specific instructions.

Role of the Corresponding Author

One author is assigned as Corresponding Author and acts on behalf of all co-authors and ensures that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately addressed.

The Corresponding Author is responsible for the following requirements:

- ensuring that all listed authors have approved the manuscript before submission, including the names and order of authors;
- managing all communication between the Journal and all co-authors, before and after publication;*
- providing transparency on re-use of material and mention any unpublished material (for example manuscripts in press) included in the manuscript in a cover letter to the Editor;
- making sure disclosures, declarations and transparency on data statements from all authors are included in the manuscript as appropriate (see above).

* The requirement of managing all communication between the journal and all co-authors during submission and proofing may be delegated to a Contact or Submitting Author. In this case please make sure the Corresponding Author is clearly indicated in the manuscript.

Author contributions

Please check the Instructions for Authors of the Journal that you are submitting to for specific instructions regarding contribution statements.

In absence of specific instructions and in research fields where it is possible to describe discrete efforts, the Publisher recommends authors to include contribution statements in the work that specifies the contribution of every author in order to promote transparency. These contributions should be listed at the end of the submission.

Examples of such statement(s) are shown below:

- Free text:

All authors contributed to the study conception and design. Material preparation, data collection and analysis were performed by [full name], [full name] and [full name]. The first draft of the manuscript was written by [full name] and all authors commented on previous versions of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

- Example: CRediT taxonomy:
 - Conceptualization: [full name], ...; Methodology: [full name], ...; Formal analysis and investigation: [full name], ...; Writing - original draft preparation: [full name], ...; Writing - review and editing: [full name], ...; Funding acquisition: [full name], ...; Resources: [full name], ...; Supervision: [full name],....

For **review articles** where discrete statements are less applicable a statement should be included who had the idea for the article, who performed the literature search and data analysis, and who drafted and/or critically revised the work.

For articles that are based primarily on the **student's dissertation or thesis**, it is recommended that the student is usually listed as principal author:

- A Graduate Student's Guide to Determining Authorship Credit and Authorship Order, APA Science Student Council 2006

Affiliation

The primary affiliation for each author should be the institution where the majority of their work was done. If an author has subsequently moved, the current address may additionally be stated. Addresses will not be updated or changed after publication of the article.

Changes to authorship

Authors are strongly advised to ensure the correct author group, the Corresponding Author, and the order of authors at submission. Changes of authorship by adding or deleting authors, and/or changes in Corresponding Author, and/or changes in the sequence of authors are **not** accepted **after acceptance** of a manuscript.

- **Please note that author names will be published exactly as they appear on the accepted submission!**

Please make sure that the names of all authors are present and correctly spelled, and that addresses and affiliations are current.

Adding and/or deleting authors at revision stage are generally not permitted, but in some cases it may be warranted. Reasons for these changes in authorship should be explained. Approval of the change during revision is at the discretion of the Editor-in-Chief. Please note that journals may have individual policies on adding and/or deleting authors during revision stage.

Author identification

Authors are recommended to use their ORCID ID when submitting an article for consideration or acquire an ORCID ID via the submission process.

Deceased or incapacitated authors

For cases in which a co-author dies or is incapacitated during the writing, submission, or peer-review process, and the co-authors feel it is appropriate to include the author, co-authors should obtain approval from a (legal) representative which could be a direct relative.

Authorship issues or disputes

In the case of an authorship dispute during peer review or after acceptance and publication, the Journal will not be in a position to investigate or adjudicate. Authors will be asked to resolve the dispute themselves. If they are unable the Journal reserves the right to withdraw a manuscript from the editorial process or in case of a published paper raise the issue with the authors' institution(s) and abide by its guidelines.

Confidentiality

Authors should treat all communication with the Journal as confidential which includes correspondence with direct representatives from the Journal such as Editors-in-Chief and/or Handling Editors and reviewers' reports unless explicit consent has been received to share information.

Compliance with Ethical Standards

To ensure objectivity and transparency in research and to ensure that accepted principles of ethical and professional conduct have been followed, authors should include information regarding sources of funding, potential conflicts of interest (financial or non-financial), informed consent if the research involved human participants, and a statement on welfare of animals if the research involved animals.

Authors should include the following statements (if applicable) in a separate section entitled "Compliance with Ethical Standards" when submitting a paper:

- Disclosure of potential conflicts of interest
- Research involving Human Participants and/or Animals
- Informed consent

Please note that standards could vary slightly per journal dependent on their peer review policies (i.e. single or double blind peer review) as well as per journal subject discipline. Before submitting your article check the instructions following this section carefully.

The corresponding author should be prepared to collect documentation of compliance with ethical standards and send if requested during peer review or after publication.

The Editors reserve the right to reject manuscripts that do not comply with the above-mentioned guidelines. The author will be held responsible for false statements or failure to fulfill the above-mentioned guidelines.

Disclosure of potential conflicts of interest

Authors must disclose all relationships or interests that could have direct or potential influence or impart bias on the work. Although an author may not feel there is any conflict, disclosure of relationships and interests provides a more complete and transparent process, leading to an accurate and objective assessment of the work. Awareness of a real or perceived conflicts of interest is a perspective to which the readers are entitled. This is not meant to imply that a financial relationship with an organization that sponsored the research or compensation received for consultancy work is inappropriate. Examples of potential conflicts of interests **that are directly or indirectly related to the research** may include but are not limited to the following:

- Research grants from funding agencies (please give the research funder and the grant number)
- Honoraria for speaking at symposia
- Financial support for attending symposia
- Financial support for educational programs
- Employment or consultation
- Support from a project sponsor
- Position on advisory board or board of directors or other type of management relationships
- Multiple affiliations
- Financial relationships, for example equity ownership or investment interest
- Intellectual property rights (e.g. patents, copyrights and royalties from such rights)
- Holdings of spouse and/or children that may have financial interest in the work

In addition, interests that go beyond financial interests and compensation (non-financial interests) that may be important to readers should be disclosed. These may include but are not limited to personal relationships or competing interests directly or indirectly tied to this research, or professional interests or personal beliefs that may influence your research.

The corresponding author collects the conflict of interest disclosure forms from all authors. In author collaborations where formal agreements for representation allow it, it is sufficient for the corresponding author to sign the disclosure form on behalf of all authors. Examples of forms can be found

- [here](#):

The corresponding author will include a summary statement in the text of the manuscript in a separate section before the reference list, that reflects what is recorded in the potential conflict of interest disclosure form(s).

Please make sure to submit all Conflict of Interest disclosure forms together with the manuscript.

See below examples of disclosures:

Funding: This study was funded by X (grant number X).

Conflict of Interest: Author A has received research grants from Company A. Author B has received a speaker honorarium from Company X and owns stock in Company Y. Author C is a member of committee Z.

If no conflict exists, the authors should state:

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Research involving human participants and/or animals

1) Statement of human rights

When reporting studies that involve human participants, authors should include a statement that the studies have been approved by the appropriate institutional and/or national research ethics committee and have been performed in accordance with the ethical standards as laid down in the 1964 Declaration of Helsinki and its later amendments or comparable ethical standards.

If doubt exists whether the research was conducted in accordance with the 1964 Helsinki Declaration or comparable standards, the authors must explain the reasons for their approach, and demonstrate that the

independent ethics committee or institutional review board explicitly approved the doubtful aspects of the study.

If a study was granted exemption from requiring ethics approval, this should also be detailed in the manuscript (including the name of the ethics committee that granted the exemption and the reasons for the exemption).

Authors must - in all situations as described above - include the name of the ethics committee and the reference number where appropriate.

The following statements should be included in the text before the References section:

Ethical approval: "All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee (include name of committee + reference number) and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards."

Ethical approval retrospective studies

Although retrospective studies are conducted on already available data or biological material (for which formal consent may not be needed or is difficult to obtain) ethical approval may be required dependent on the law and the national ethical guidelines of a country. Authors should check with their institution to make sure they are complying with the specific requirements of their country.

2) Statement on the welfare of animals

The welfare of animals used for research must be respected. When reporting experiments on animals, authors should indicate whether the international, national, and/or institutional guidelines for the care and use of animals have been followed, and that the studies have been approved by a research ethics committee at the institution or practice at which the studies were conducted (where such a committee exists). Please provide the name of ethics committee and relevant permit number.

For studies with animals, the following statement should be included in the text before the References section:

Ethical approval: "All applicable international, national, and/or institutional guidelines for the care and use of animals were followed."

If applicable (where such a committee exists): "All procedures performed in studies involving animals were in accordance with the ethical standards of the institution or practice at which the studies were conducted.(include name of committee + permit number)"

If articles do not contain studies with human participants or animals by any of the authors, please select one of the following statements:

"This article does not contain any studies with human participants performed by any of the authors."

"This article does not contain any studies with animals performed by any of the authors."

"This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors."

Informed consent

All individuals have individual rights that are not to be infringed. Individual participants in studies have, for example, the right to decide what happens to the (identifiable) personal data gathered, to what they have said during a study or an interview, as well as to any photograph that was taken. Hence it is important that all participants gave their informed consent in writing prior to inclusion in the study. Identifying details (names, dates of birth, identity numbers and other information) of the participants that were studied should not be published in written descriptions, photographs, and genetic profiles unless the information is essential for scientific purposes and the participant (or parent or guardian if the participant is incapable) gave written informed consent for publication. Complete anonymity is difficult to achieve in some cases, and informed consent should be obtained if there is any doubt. For example, masking the eye region in photographs of participants is inadequate protection of anonymity. If identifying characteristics are altered to protect anonymity, such as in genetic profiles, authors should provide assurance that alterations do not distort scientific meaning.

The following statement should be included:

Informed consent: "Informed consent was obtained from all individual participants included in the study."

If identifying information about participants is available in the article, the following statement should be included:

“Additional informed consent was obtained from all individual participants for whom identifying information is included in this article.”

Research Data Policy

The journal encourages authors, where possible and applicable, to deposit data that support the findings of their research in a public repository. Authors and editors who do not have a preferred repository should consult Springer Nature's list of repositories and research data policy.

- [List of Repositories](#)
- [Research Data Policy](#)

General repositories - for all types of research data - such as figshare and Dryad may also be used.

Datasets that are assigned digital object identifiers (DOIs) by a data repository may be cited in the reference list. Data citations should include the minimum information recommended by DataCite: authors, title, publisher (repository name), identifier.

- [DataCite](#)

Springer Nature provides a research data policy support service for authors and editors, which can be contacted at researchdata@springernature.com.

This service provides advice on research data policy compliance and on finding research data repositories. It is independent of journal, book and conference proceedings editorial offices and does not advise on specific manuscripts.

- [Helpdesk](#)

After Acceptance

Upon acceptance of your article you will receive a link to the special Author Query Application at Springer's web page where you can sign the Copyright Transfer Statement online and indicate whether you wish to order OpenChoice and offprints.

Once the Author Query Application has been completed, your article will be processed and you will receive the proofs.

Copyright transfer

Authors will be asked to transfer copyright of the article to the Publisher (or grant the Publisher exclusive publication and dissemination rights). This will ensure the widest possible protection and dissemination of information under copyright laws.

Offprints

Offprints can be ordered by the corresponding author.

Color illustrations

Publication of color illustrations is free of charge.

Proof reading

The purpose of the proof is to check for typesetting or conversion errors and the completeness and accuracy of the text, tables and figures. Substantial changes in content, e.g., new results, corrected values, title and authorship, are not allowed without the approval of the Editor.

After online publication, further changes can only be made in the form of an Erratum, which will be hyperlinked to the article.

Online First

The article will be published online after receipt of the corrected proofs. This is the official first publication citable with the DOI. After release of the printed version, the paper can also be cited by issue and page numbers.

Open Choice

Open Choice allows you to publish open access in more than 1850 Springer Nature journals, making your research more visible and accessible immediately on publication.

Article processing charges (APCs) vary by journal – [view the full list](#)

Benefits:

- Increased researcher engagement: Open Choice enables access by anyone with an internet connection, immediately on publication.
- Higher visibility and impact: In Springer hybrid journals, OA articles are accessed 4 times more often on average, and cited 1.7 more times on average*.
- Easy compliance with funder and institutional mandates: Many funders require open access publishing, and some take compliance into account when assessing future grant applications. It is easy to find funding to support open access – please see our funding and support pages for more information.

*) Within the first three years of publication. Springer Nature hybrid journal OA impact analysis, 2018.

- [Open Choice](#)
- [Funding and Support pages](#)

Copyright and license term – CC BY

Open Choice articles do not require transfer of copyright as the copyright remains with the author. In opting for open access, the author(s) agree to publish the article under the Creative Commons Attribution License.