



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

CURSO DE ODONTOLOGIA

MYLLENA RODRIGUES E SILVA

**AVALIAÇÃO IN VITRO DA VISCOSIDADE DE RESINAS COMPOSTAS
REGULARES SUBMETIDAS AO PRÉ-AQUECIMENTO**

Recife

2025

MYLLENA RODRIGUES E SILVA

**AVALIAÇÃO IN VITRO DA VISCOSIDADE DE RESINAS COMPOSTAS
REGULARES SUBMETIDAS AO PRÉ-AQUECIMENTO**

Trabalho apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Odontologia do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco.

Orientadora: Profa. Dra. Bruna de Carvalho Farias Vajgel

Co-orientador: Mestrando Jonathas José de Paulo

Recife

2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE**

Silva, Myllena Rodrigues e .

Avaliação in vitro da viscosidade de resinas compostas regulares submetidas
ao pré-aquecimento / Myllena Rodrigues e Silva. - Recife, 2025.
33p. : il., tab.

Orientador(a): Bruna de Carvalho Farias Vajgel

Cooorientador(a): Jonathas José de Paulo

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Ciências da Saúde, Odontologia - Bacharelado, 2025.
Inclui referências, anexos.

1. Resinas compostas . 2. Viscosidade . 3. Reologia. 4. Cimentação. I. Vajgel,
Bruna de Carvalho Farias. (Orientação). II. Paulo, Jonathas José de .
(Coorientação). IV. Título.

610 CDD (22.ed.)

MYLENNA RODRIGUES E SILVA

**AVALIAÇÃO IN VITRO DA VISCOSIDADE DE RESINAS COMPOSTAS
REGULARES SUBMETIDAS AO PRÉ-AQUECIMENTO**

Trabalho apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Odontologia do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco.

Aprovada em: 04 / 12 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

**Bruna de Carvalho Farias Vajgel/
UFPE**

**Viviane Maria Gonçalves de Figueiredo/
UFPE**

**Roselini Carla Nepomuceno da Costa/
UFPE**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a **DEUS**, pela força, paciência e sabedoria concedidas em cada etapa desta caminhada acadêmica.

À minha família, pelo amor incondicional, apoio constante e compreensão nos momentos de ausência e cansaço. Sem eles, este sonho não teria se tornado possível.

À minha orientadora, Profa. Dra. Bruna de Carvalho Farias Vajgel, pelos ensinamentos e confiança depositada, que foram essenciais para o amadurecimento científico e pessoal ao longo desta pesquisa.

Ao meu coorientador, Jonathas José de Paulo, por sua dedicação, apoio, orientação e valiosas contribuições ao longo deste trabalho, que foram essenciais para o desenvolvimento e aprimoramento da pesquisa.

Aos colegas de curso e amigos que, de diferentes formas, contribuíram com incentivo, risadas e companheirismo durante esta jornada.

Aos professores e funcionários da instituição, pelo comprometimento e pelo ambiente de aprendizado que tornaram esta experiência tão significativa.

À Universidade Federal de Pernambuco pelo suporte e pela formação ao longo da minha trajetória acadêmica.

Aos pacientes que acompanhei durante a graduação, cuja confiança contribuiu profundamente para meu crescimento profissional.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma maneira, fizeram parte deste percurso, cada palavra de apoio e gesto de incentivo foram fundamentais para a realização deste trabalho.

“O correr da vida embrulha tudo. A vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem”.
(ROSA, 1956, p. 402).

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência do pré-aquecimento na viscosidade complexa (η^*) e nos módulos viscoelásticos de resinas compostas regulares utilizadas como agentes cimentantes. Tratou-se de um estudo in vitro composto por 30 amostras (N = 10 por grupo), no qual foram analisados três grupos: RV (RelyX Veneer, 25 °C), HC (Herculite Classic, 69 °C) e Z100 (Filtek Z100, 69 °C). As análises foram conduzidas em um reômetro de placas paralelas HAAKE MARS III (Thermo Fisher Scientific, Waltham, EUA), utilizando varredura oscilatória para obtenção de G' (módulo de armazenamento), G'' (módulo de perda) e η^* (viscosidade complexa) em frequências de 0,01 a 100 rad/s. Os resultados mostraram que o grupo RV apresentou os maiores valores de G', G'' e η^* , evidenciando maior rigidez estrutural e menor susceptibilidade ao escoamento. O pré-aquecimento reduziu de forma acentuada os módulos viscoelásticos das resinas HC e Z100, tornando-as mais fluidas e com comportamento típico de materiais pseudoplásticos, caracterizado pela redução progressiva da viscosidade com o aumento da frequência. Entre as resinas aquecidas, a HC apresentou valores intermediários, enquanto a Z100 mostrou os menores valores de G', G'' e η^* , indicando maior sensibilidade térmica. Conclui-se que o pré-aquecimento promove redução significativa da viscosidade e melhora da fluidez das resinas compostas regulares, favorecendo seu potencial uso como agentes cimentantes. Com isso, o pré-aquecimento se mostrou como uma estratégia promissora, porém depende de controle rigoroso e maior padronização para ser aplicado com segurança na cimentação odontológica.

Palavras-chave: resinas compostas; viscosidade; reologia; cimentação.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the influence of preheating on the complex viscosity (η^*) and viscoelastic moduli of regular composite resins used as cementing agents. This was an in vitro study composed of 30 samples ($N = 10$ per group), in which three groups were analyzed: RV (RelyX Veneer, 25 °C), HC (Herculite Classic, 69 °C) and Z100 (Filtek Z100, 69 °C). The analyses were conducted on a HAAKE MARS III parallel plate rheometer (Thermo Fisher Scientific, Waltham, USA), using oscillatory sweep to obtain G' (storage modulus), G'' (loss modulus) and η^* (complex viscosity) at frequencies from 0.01 to 100 rad/s. The results showed that the RV group presented the highest values of G' , G'' , and η^* , evidencing greater structural rigidity and lower susceptibility to flow. Preheating significantly reduced the viscoelastic moduli of the HC and Z100 resins, making them more fluid and exhibiting typical pseudoplastic material behavior, characterized by a progressive reduction in viscosity with increasing frequency. Among the heated resins, HC showed intermediate values, while Z100 showed the lowest values of G' , G'' , and η^* , indicating greater thermal sensitivity. It is concluded that preheating significantly reduces the viscosity and improves the fluidity of regular composite resins, favoring their potential use as cementing agents. Therefore, preheating proved to be a promising strategy, but it depends on rigorous control and greater standardization to be safely applied in dental cementation.

Keywords: composite resins; viscosity; rheology; cementation.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 8 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 10 |
| 2.1 | GERAL..... | 10 |
| 2.2 | ESPECÍFICOS..... | 10 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 11 |
| 3.1 | TIPO DE ESTUDO..... | 11 |
| 3.2 | CÁLCULO AMOSTRAL..... | 11 |
| 3.3 | MATERIAIS..... | 11 |
| 3.4 | ANÁLISE DA VISCOSIDADE DOS COMPÓSITOS PRÉ-AQUECIDOS | 12 |
| 4 | RESULTADOS..... | 15 |
| 5 | DISCUSSÃO..... | 20 |
| 6 | CONCLUSÃO..... | 23 |
| | REFERÊNCIAS..... | 24 |
| | ANEXO A – NORMAS DA REVISTA..... | 27 |

1 INTRODUÇÃO

As resinas compostas são extremamente empregadas na odontologia restauradora devido às suas notáveis propriedades estéticas e físico-químicas, que permitem uma adaptação ideal às exigências clínicas. O sucesso clínico dessas restaurações está diretamente relacionado com as propriedades mecânicas do material, a escolha adequada do agente de união, o controle rigoroso da umidade, a precisão da técnica utilizada e a eficácia do processo de polimerização. Todos esses aspectos, quando bem manejados, garantem a longevidade e a funcionalidade das restaurações, assegurando bons resultados clínicos.¹⁻²

O aquecimento de resina composta foi mencionado pela primeira vez em 2005 por Daronch.³ A aplicabilidade da resina composta para cimentação começou a ser utilizada principalmente em dentes posteriores,⁴ por diferentemente dos cimentos resinosos, apresentam o alto teor de carga que proporciona um desgaste mínimo ao nível da interface, por outro lado a facilidade de limpeza do excesso antes da polimerização é uma das grandes vantagens em comparação à técnica convencional com cimentos duais. O potencial de preencher quaisquer defeitos da restauração no ato da preparação melhora o selamento marginal,⁵⁻⁶ visto que como o material restaurador é o mesmo material utilizado para cimentação, reduz o número de interfaces.⁷ Um desafio importante nesta técnica é conseguir uma camada suficientemente fluida e fina para não alterar o assentamento total da restauração.⁸

Embora a resina composta geralmente possua uma espessura de filme mais alta em comparação aos cimentos resinosos, o pré-aquecimento reduz significativamente sua viscosidade, levando a uma melhor fluidez e adaptação marginal, reduzindo a microinfiltração e a formação de lacunas, tornando-a comparável à dos cimentos resinosos, além de que o aumento da temperatura não altera suas propriedades ópticas.⁹⁻¹⁰ Estudos demonstram também que o pré-aquecimento entre 54 °C e 69 °C não representa risco significativo à câmara pulpar, tornando o procedimento clinicamente seguro.^{9,11}

Ademais, em comparação ao uso de cimentos resinosos fotopolimerizáveis e resinas compostas fluidas para a cimentação de laminados, as resinas pré-aquecidas apresentam maior disponibilidade de tonalidades, custo reduzido, menor contração de polimerização e menor degradação marginal.¹² Assim, o uso de resinas restauradoras pré-aquecidas como agentes de cimentação para facetas de no máximo 50 µm de espessura da linha de cimentação, segundo a

norma ISO 4049, e outras restaurações indiretas finas de até 120 µm tem se tornado cada vez mais comum na prática clínica.¹²

Além dos benefícios relacionados à manipulação e à estabilidade das resinas compostas, o pré-aquecimento também exerce impacto positivo na polimerização desses materiais, favorecendo a mobilidade dos radicais livres e dos monômeros, o que resulta em uma maior taxa de conversão.¹³ Consequentemente, observa-se uma melhora nas propriedades mecânicas, físicas e de superfície dos compósitos pré-aquecidos, incluindo aumento da tenacidade à fratura.¹³ Diversos métodos são relatados na literatura para o pré-aquecimento de materiais à base de resina, como os dispositivos Calset e HotSet, que permitem atingir temperaturas controladas e reproduzíveis clinicamente.¹⁴

Considerando que o aumento da temperatura pode alterar significativamente a viscosidade e o comportamento de escoamento das resinas compostas, torna-se fundamental quantificar essas variações de maneira precisa e padronizada. Nesse contexto, o reômetro é o equipamento mais indicado, pois permite avaliar a resposta viscoelástica dos materiais por meio de parâmetros como o módulo de armazenamento (G'), o módulo de perda (G'') e a viscosidade complexa (η^*), que expressa a resistência do material à deformação sob diferentes condições de cisalhamento.¹⁵⁻¹⁶ Dessa forma, a análise reológica fornece subsídios científicos para compreender o efeito do pré-aquecimento na capacidade de escoamento e na adaptação marginal dos compósitos quando utilizados como agentes cimentantes.

Assim, este estudo foi fundamental para avaliar o uso de resinas compostas pré-aquecidas como alternativa aos cimentos resinosos convencionais, considerando sua influência na viscosidade do material. Ao fornecer evidências sobre como a variação de temperatura afeta a fluidez das resinas, a comparação com os métodos tradicionais auxilia na compreensão dos benefícios e desafios dessa abordagem, favorecendo futuras inovações e a padronização de técnicas mais eficazes e seguras para os pacientes.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viscosidade complexa do cimento resinoso RelyX Veneer (3M ESPE St. Paul, MN, USA) comparativamente às resinas compostas de viscosidade regular: Herculite Classic (Kerr Middleton, USA) e Filtek Z100 (3M ESPE St. Paul, MN, USA), pré-aquecidas usadas como agentes cimentantes, através do reômetro.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Avaliar a viscosidade complexa (η^*) das resinas compostas regulares quando submetidas ao pré-aquecimento à 69°C comparativamente ao cimento resinoso à 25°C;
- Analisar o comportamento viscoelástico das resinas avaliando os módulos de armazenamento (G') e perda (G'') ao longo da varredura de frequências (0,01 a 100 rad/s), identificando diferenças resultantes do pré-aquecimento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 TIPO DE ESTUDO

Foi realizado um estudo experimental laboratorial *in vitro* de abordagem quantitativa.

As etapas laboratoriais do estudo foram realizadas no Laboratório Tecnológico em Segurança Alimentar e Nutricional da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

3.2 CÁLCULO AMOSTRAL

O número de amostras ($N = 10$ por grupo) foi definido com base em estudos anteriores que empregaram metodologia reológica semelhante e parâmetros comparáveis^{11,17-18}, assegurando comparabilidade entre os protocolos experimentais, como descrito na figura 1.

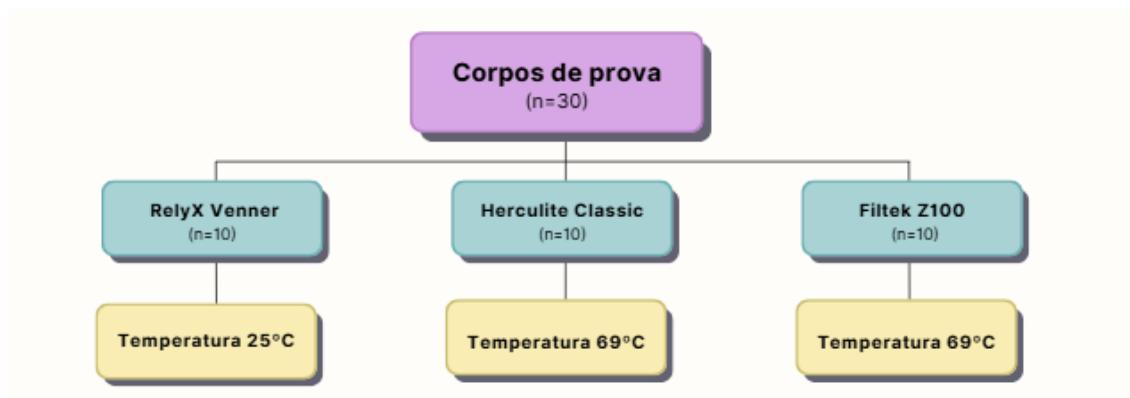


Figura 1 - Divisão dos grupos do estudo.

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS E GRUPOS DO ESTUDO

Foi analisado o cimento resinoso RelyX Venner (RV) como grupo controle em relação com duas resinas compostas: Herculite Classic (HC) e Filtek Z100 (Z100). Os materiais utilizados, bem como os respectivos fabricantes e as composições estão dispostos no quadro 1.

| MATERIAL | COMPOSIÇÃO | TIPO DE PARTÍCULA | COR / FOTOATIVAÇÃO | LOTE |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|------------|
| RelyX Veneer 3M ESPE St Paul, EUA | Matriz resinosa composta por TEGDMA/BisGMA e carga de zircônia/sílica com tamanho de partícula entre 0,2-3,0 micrômetros e aproximadamente 47% em volume. | Microhíbrida | COR: A2 Fotoativação: 20 s. | 2511200270 |
| Herculite Classic Kerr Corp, Orange, EUA | Bis-GMA, TEGDMA, canforoquinona, amina, óxido de ferro pigmentos, vidro borossilicato de alumínio, sílica coloidal (SiO_2) 79% do conteúdo de Carga. | Microhíbrida | COR: A2 Fotoativação: 20 s. | A183812 |
| Filtek Z100 3M ESPE St Paul, EUA | Matriz Orgânica: Bis-GMA, TEGDMA Partículas de Carga Inorgânica: Zircônia/Sílica:0,6 μm ; 66% em volume. | Microhíbrida | COR: A2 Fotoativação: 40 s. | 2426100613 |

Quadro 1 - Composição dos materiais que serão utilizados no estudo.

3.4 ANÁLISE DA VISCOSIDADE DOS COMPÓSITOS PRÉ-AQUECIDOS

Os compósitos foram retirados de suas embalagens originais com o auxílio de uma espátula suprafíl 1/2 (Millennium / Golgran, São Paulo, Brasil) e pesados em uma balança analítica (AG200, GEHAKA), para padronização de volume de 0,5 g. Em seguida o material foi dispensado na placa inferior do reômetro e posicionado com a distância de 1,0 mm de folga entre as placas. O aquecimento foi fornecido pelo próprio reômetro.¹⁹

A viscosidade (Pa.s) foi medida até atingir a temperatura de 69º para cada material (varredura dinâmica de deformação) durante 15 minutos, a uma taxa de cisalhamento constante de 2 s⁻¹. Todos os compósitos foram pré-aquecidos e o cimento resinoso foi testado apenas em temperatura ambiente. As medições foram conduzidas utilizando uma geometria de placas paralelas com raio de 25 mm (HAAKE MARS III, Thermo Fisher, Waltham, EUA) (Fig. 2) do Laboratório Tecnológico em Segurança Alimentar e Nutricional da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Qualquer excesso de material do compósito de resina ou bolhas de ar ao redor da circunferência da placa foram removidos manualmente antes do início das medições.

A viscosidade corresponde à dificuldade que um fluido apresenta para se movimentar, um efeito provocado pelo atrito interno entre suas moléculas durante o escoamento.¹⁵ Esse parâmetro é determinado relacionando-se a tensão de cisalhamento aplicada ao material com a taxa de deformação que ela produz.¹⁵ As resinas compostas, por serem materiais não newtonianos, exibem comportamento viscoelástico.¹⁵ Tal característica pode ser analisada por meio de ensaios oscilatórios de cisalhamento realizados em reômetro.¹⁵ Nessas análises, a resposta elástica do material é expressa pelo módulo de armazenamento (G'), enquanto a resposta viscosa é representada pelo módulo de perda (G''). A razão entre essas duas grandezas define o $\tan \delta$.¹⁵ Já o módulo de cisalhamento complexo (G^*) resulta da combinação entre o módulo elástico e a componente imaginária associada ao módulo de perda (iG''), sendo calculado conforme a equação correspondente.¹⁵

$$G^* = G' + iG''$$

A viscosidade complexa (η^*) é calculada (Eq. (2)) pela razão entre o módulo de cisalhamento complexo e a frequência de oscilação (ω):

$$\eta^* = G^* / \omega$$

Os resultados aparecem em um diagrama com a deformação plotada no eixo x e o módulo de armazenamento G' e o módulo de perda G'' plotados no eixo y (Gráfico de Deformação por Cisalhamento Controlado). A região viscoelástica linear (LVE) é calculada por meio de software de análise.

Uma relação empírica (Cox-Merz) frequentemente relaciona ambos os tipos de viscosidade.¹⁹ De acordo com Cox-Merz,¹⁵ as viscosidades em regime permanente de

cisalhamento e complexa são iguais quando a deformação por cisalhamento aplicada ao polímero é igual à frequência de oscilação (ω) empregada para testar o mesmo polímero por meio de testes oscilatórios.

As propriedades reológicas de um material viscoelástico são independentes da deformação até um nível crítico de deformação (região viscoelástica linear). Uma taxa de deformação de 0,1–100% e uma frequência de 1 Hz foram aplicadas neste estudo.

O software Haake RheoWin Data Manage (versão V.4.63.0004) foi utilizado para calcular as propriedades reológicas dinâmicas.



Figura 2 - Reômetro de placas (HAAKE MARS III, Thermo Fisher, Waltham, EUA)

4 RESULTADOS

Os Gráficos 1, 2 e 3 apresentam a dispersão dos módulos viscoelásticos G' (módulo de armazenamento) e G'' (módulo de perda) em função da frequência para as três resinas avaliadas. Observa-se que o comportamento dos materiais foi fortemente influenciado pela temperatura de teste, uma vez que a RV foi analisada à temperatura ambiente (25°C), enquanto HC e Z100 foram avaliadas a 69°C , condição que favorece a redução da viscosidade das resinas.

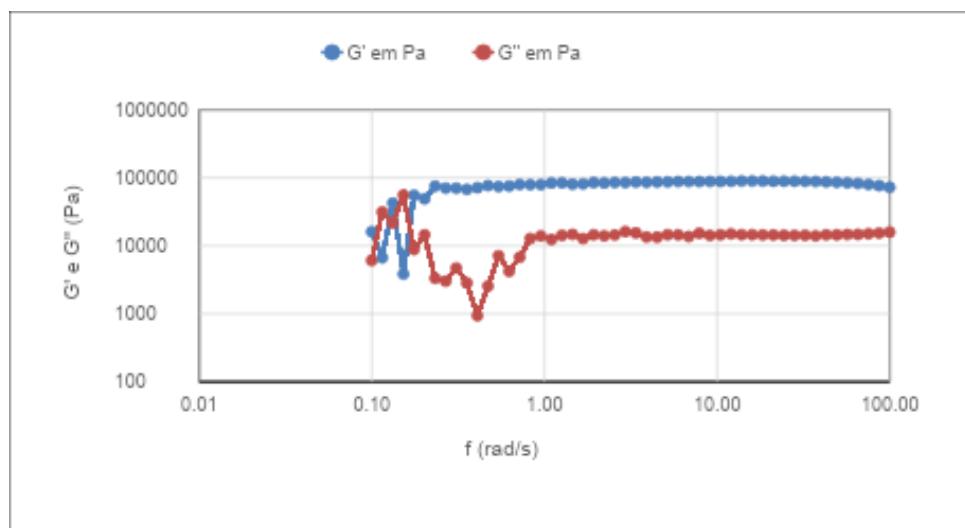


Gráfico 1 – Dispersão de G' e G'' (Pa) no grupo do cimento resinoso RV por frequência

No Gráfico 1, o RV apresentou os maiores valores de G' e G'' ao longo de praticamente toda a faixa de frequências, refletindo maior rigidez estrutural. O módulo de perda (G'') exibiu oscilações iniciais em torno de $0,1 \text{ rad/s}$, mas não apresentou queda progressiva com o aumento da frequência. Após esse trecho inicial, G'' estabilizou-se, permanecendo próximo da ordem de 10^4 Pa entre 1 e 100 rad/s , indicando comportamento viscoso relativamente constante mesmo em frequências mais altas. O módulo de armazenamento (G') manteve-se superior a G'' em quase toda a curva, evidenciando predominância do componente elástico em temperatura ambiente.

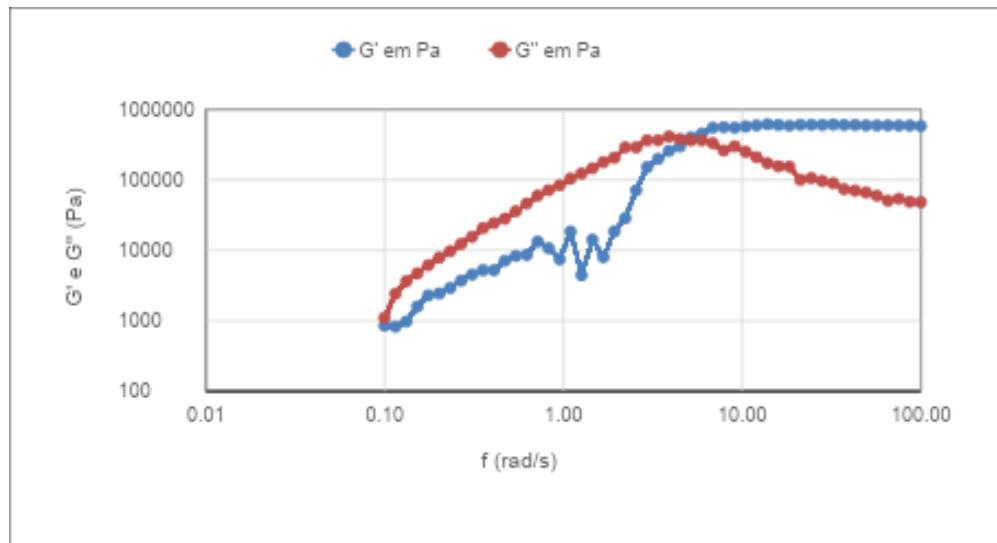


Gráfico 2 – Dispersão de G' e G'' (Pa) no grupo da resina HC por frequência

O Gráfico 2, referente à HC testada a 69 °C, revelou queda expressiva dos valores iniciais de G' e G'' quando comparada à RV. A elevação de temperatura reduziu a viscosidade e aumentou a mobilidade molecular da resina, ocasionando diminuição do caráter elástico e viscoso nas baixas freqüências. Ainda assim, observa-se que ambos os módulos aumentam progressivamente após 1 rad/s, sugerindo que, apesar do aquecimento, a estrutura carregada da Herculite mantém resistência significativa ao cisalhamento oscilatório em freqüências elevadas.

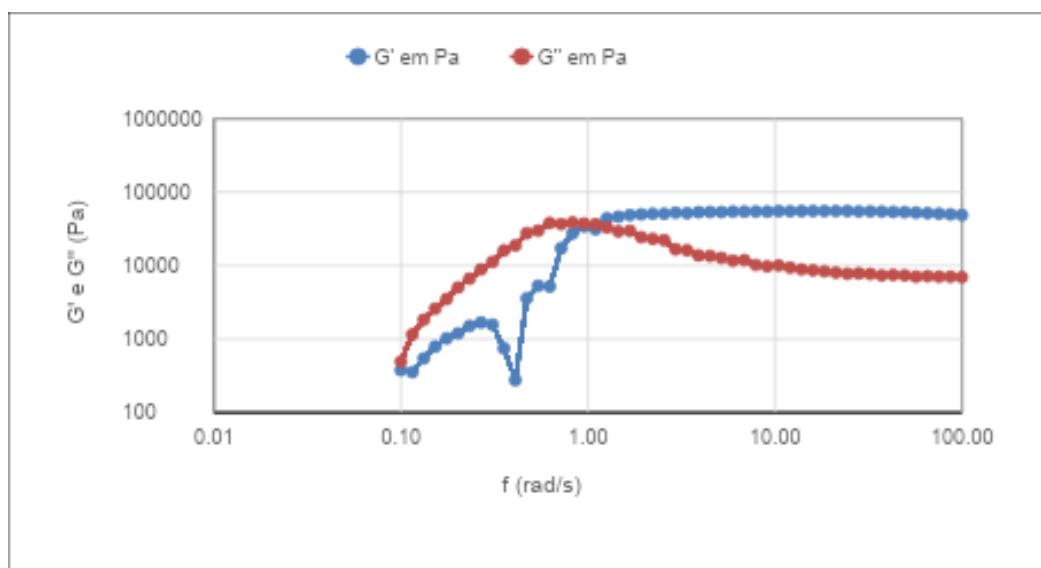


Gráfico 3 – Dispersão de G' e G'' (Pa) no grupo da resina Z100 por frequência

O Gráfico 3, referente à Z100 também avaliada a 69 °C, mostrou os menores valores de G' e G'' entre todos os materiais. O aquecimento promoveu acentuada redução da rigidez e do componente viscoso, fazendo com que a Z100 apresentasse a curva mais baixa em toda a varredura de frequências. Observa-se ainda um pico intermediário em G'' , típico de materiais com maior relaxação viscosa sob efeito térmico, seguido de redução do módulo em frequências mais altas. Em todo o intervalo, Herculite apresentou valores superiores aos da Filtek Z100 aquecida, demonstrando que seu comportamento segue mais rígido, mesmo sob aquecimento.

Os Gráficos 4 e 5, que comparam diretamente as três resinas, reforçam a influência da temperatura no comportamento viscoelástico. No Gráfico 4, observa-se que inicialmente o RV apresenta G' muito superior às duas resinas aquecidas, indicando que o teste a 25 °C preservou a rigidez e o caráter elástico do material. A HC ocupa posição intermediária, enquanto a Z100 apresenta o menor G' .

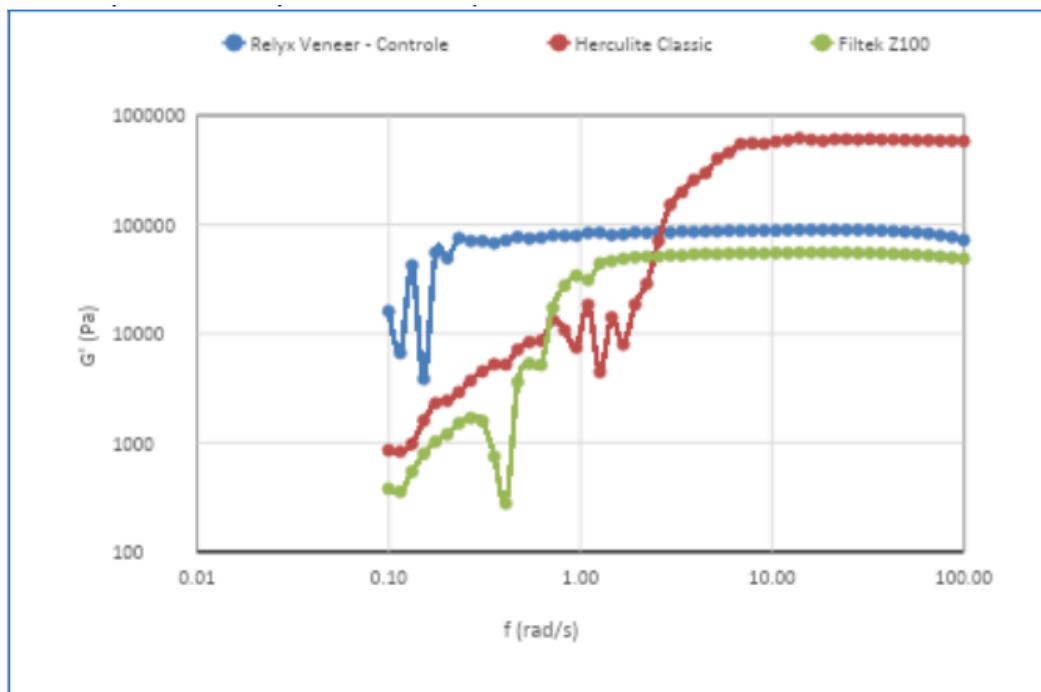


Gráfico 4 – Dispersão de G' por resina e frequência

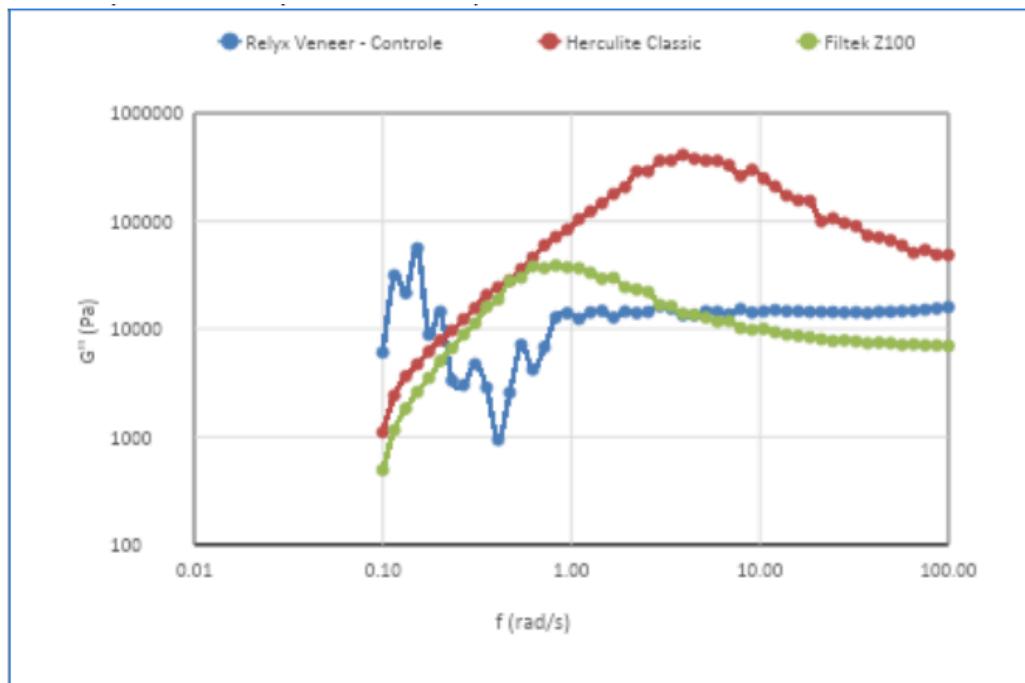


Gráfico 5 – Dispersão de G'' por resina e frequência

No Gráfico 5, que apresenta a dispersão do módulo de perda (G'') para as três resinas, observa-se que a ordem entre os materiais muda ao longo da varredura de frequências, demonstrando que o comportamento viscoso é altamente dependente da frequência de oscilação. Nas baixas frequências ($\approx 0,1$ rad/s), a Filtek Z100 apresenta os menores valores de G'' , seguida pela Herculite Classic, enquanto o RelyX Veneer exibe os maiores valores iniciais. Esse comportamento está associado ao maior relaxamento viscoso do RelyX Veneer nessa faixa, que sofre maior dissipação de energia no início da varredura. À medida que a frequência aumenta para a faixa intermediária (≈ 1 rad/s), ocorre mudança da ordem: a Herculite Classic apresenta os maiores valores de G'' , e a Z100 ultrapassa a RelyX Veneer, apresentando maior módulo de perda.

Tabela 1 - Viscosidade complexa (η^*) de compósitos em várias frequências

| Material | $\omega = 0.01$ rad/s | $\omega = 0.1$ rad/s | $\omega = 1$ rad/s | $\omega = 10$ rad/s | $\omega = 100$ rad/s |
|-------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| Herculite Classic | 2,500,000 | 531,600 | 233,380 | 570,090 | 32,002 |
| RelyX Veneer | 29,154,760 | 6,801,470 | 814,030 | 96,329 | 7,596 |
| Filtek Z100 | 3,605,550 | 2,236,068 | 471,700 | 80,806 | 6,183 |

Em todos os materiais, observou-se redução progressiva da viscosidade complexa conforme o aumento da frequência, comportamento típico de materiais viscoelásticos pseudoplásticos (tabela 1).

Assim, os gráficos e a Tabela mostram que o grupo controle apresenta comportamento mais rígido e maior resistência à deformação dinâmica, enquanto a Herculite Classic apresenta propriedades intermediárias, e a Filtek Z100 demonstra estrutura mais flexível, com menores valores elásticos e viscosos.

5 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo evidenciaram que o comportamento reológico observado corrobora a natureza viscoelástica dos compósitos odontológicos e demonstra que a resposta mecânica ao pré-aquecimento depende diretamente da composição de cada material, da fração volumétrica de carga e da matriz orgânica.¹⁹

O grupo controle, composto pelo cimento resinoso RV, apresentou os maiores valores de módulo de armazenamento (G'), módulo de perda (G'') e viscosidade complexa (η^*) nas frequências iniciais. Esses achados indicam maior rigidez estrutural e menor susceptibilidade ao escoamento durante a deformação dinâmica. Estudos como os de Lee et al. (2003)¹⁹ sugerem que cimentos resinosos podem apresentar comportamento mecanicamente mais rígido devido à presença de partículas de carga finamente distribuídas e monômeros de maior viscosidade, mesmo sendo materiais desenvolvidos para fluidez clínica controlada. Assim, os resultados deste estudo reforçam que a formulação específica do material influencia diretamente seu desempenho reológico, justificando a superioridade observada no grupo controle.

A Filtek Z100, por sua vez, apresentou valores menores para G' , e intermediários G'' e η^* . Por ser um compósito micro-híbrido de alto teor de carga, era esperado que exibisse resistência elástica relevante. Entretanto, a presença de monômeros de menor viscosidade, como o TEGDMA, torna sua matriz mais suscetível à redução de rigidez quando submetida ao pré-aquecimento. Pesquisas de Coelho et al. (2019)¹⁷ e Marcondes et al. (2020)¹⁶ demonstram que o aumento da temperatura pode diminuir a viscosidade em até 75%, modificando a relação entre seus componentes elásticos e viscosos. O comportamento intermediário da Z100 observado neste estudo reforça que seu desempenho reológico sofre influência térmica significativa, aproximando-a, parcialmente, do cimento resinoso em termos de fluidez inicial.

A Herculite Classic apresentou oscilações progressivas no módulo elástico e aumento do módulo viscoso e da viscosidade complexa com o aumento da frequência. Apesar de também ser uma resina micro-híbrida, seu comportamento mais fluido após o pré-aquecimento pode estar relacionado à composição da matriz orgânica, possivelmente constituída por monômeros mais flexíveis e maior proporção de componentes de baixa viscosidade. Estudos como o de Raposo (2022)¹⁸ relatam que compósitos com matrizes mais

flexíveis exibem maior relaxamento molecular sob aquecimento, resultando em diminuição acentuada de rigidez e redução importante da componente elástica. Isso explica a maior susceptibilidade ao escoamento inicial e a menor resistência à deformação observada na Herculite Classic.

A redução progressiva da viscosidade complexa com o aumento da frequência em todos os materiais confirma o comportamento pseudoplástico esperado em resinas compostas.^{15,19} Isso significa que quanto maior a taxa de deformação, menor a resistência ao escoamento, o que pode ser clinicamente relevante para a acomodação do material em restaurações indiretas.¹⁹ No entanto, a diferença marcante entre os grupos reforça que nem todas as resinas respondem de forma semelhante ao aquecimento.¹²

Do ponto de vista clínico, estes resultados têm implicações importantes. A literatura reconhece que a adaptação marginal de restaurações indiretas depende fortemente da fluidez do material cimentante, sendo valores de discrepância marginal entre 50 e 200 µm considerados clinicamente aceitáveis.²⁰ Materiais de menor viscosidade tendem a promover melhor acomodação da peça, reduzindo irregularidades e favorecendo contato íntimo com a superfície preparada.¹² Nesse contexto, tanto a Filtek Z100 quanto a Herculite Classic, após pré-aquecimento, apresentam potencial para melhorar a adaptação marginal, especialmente em restaurações de baixa espessura.^{12,19} Entretanto, a viscosidade muito reduzida pode resultar em extravasamento excessivo ou dificuldade de controle do filme cimentante, o que representa limitação prática importante.^{5,15}

A literatura recente tem sugerido o pré-aquecimento como alternativa viável para o uso de resinas compostas regulares em procedimentos de cimentação, devido à redução temporária da viscosidade e ao aumento da conversão monomérica inicial.^{16,21} No entanto, os achados do presente estudo reforçam que, apesar das vantagens, o pré-aquecimento não iguala completamente o comportamento viscoelástico das resinas compostas ao de um cimento resinoso convencional.

Assim, ainda que o pré-aquecimento configure estratégia promissora para melhorar a fluidez e potencialmente a adaptação marginal, sua eficácia depende de variáveis críticas, como a composição da resina, o rigor no controle da temperatura (69 °C neste estudo) e o intervalo entre o pré-aquecimento e o uso clínico. Estudos futuros devem explorar a durabilidade dessas alterações reológicas ao longo do tempo, bem como seu impacto clínico.

direto na cimentação, incluindo resistência de união, espessura do filme cimentante e estabilidade mecânica sob ciclagem térmica e mecânica.

Esses achados indicam que o pré-aquecimento modifica de forma relevante as propriedades reológicas das resinas compostas, favorecendo maior fluidez inicial e potencial melhoria da adaptação marginal. Contudo, apesar da redução da viscosidade, as resinas pré-aquecidas não reproduziram plenamente o comportamento reológico do cimento resinoso convencional, reforçando que sua utilização como agente cimentante permanece dependente de rigoroso controle de temperatura e tempo de aplicação.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou que o pré-aquecimento a 69 °C promoveu uma redução significativa da viscosidade complexa (η^*), aumentando sua fluidez, aproximando, em certa medida, o desempenho das resinas pré-aquecidas ao do cimento resinoso RV a 25 °C. Além disso, esse aquecimento modificou o comportamento viscoelástico dos materiais, reduzindo os módulos G' e G'' ao longo de toda a varredura de frequências (0,01–100 rad/s), evidenciando menor rigidez e maior capacidade de escoamento. Esses resultados reforçam que a resposta térmica das resinas compostas depende de sua composição química e da fração de carga, o que influencia diretamente sua aplicabilidade como agentes cimentantes.

A técnica exige controle rigoroso do tempo e da temperatura de aplicação, e sua eficácia pode variar entre diferentes formulações de resinas. Assim, conclui-se que o pré-aquecimento configura estratégia promissora, porém dependente de maior padronização e de estudos complementares, tanto *in vitro* quanto clínicos, para que sua utilização como método alternativo de cimentação seja recomendada com segurança na prática odontológica.

REFERÊNCIAS

1. Bilgili Can D, Özarslan M. 3D–2D microleakage assessment of preheated bulk-fill composite resin applied with different parameters: a micro-CT analysis. *Odontology*. 2023; **111(4)**: 942-952. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10266-023-00798-3>.
2. Marcondes RL. Resina composta restauradora pré-aquecida como agente de cimentação adesiva de restaurações indiretas [tese]. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas; 2021. Available from: <http://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/prefix/8524>.
3. Daronch M, Rueggeberg FA, De Goes MF. Monomer conversion of pre-heated composite. *Journal of dental research*. 2005; **84(7)**: 663-667. doi:10.1177/154405910508400716.
4. Mohammadi N, Jafari-Navimipour E, Kimyai S, Bahari M, Ansarin M, Ansarin M. Effect of pre-heating on the mechanical properties of silorane-based and methacrylate-based composites. *Journal of clinical and experimental dentistry*. 2016; **8(4)**: 373-378. doi:10.4317/jced.52807.
5. Blalock JS, Holmes RG, Rueggeberg FA. Effect of temperature on unpolymerized composite resin film thickness. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2006; **96(6)**: 424-432. doi:10.1016/j.prosdent.2006.09.022.
6. De Andrade OS, Borges GA, Kyrillos M, Moreira M, Calicchio L, Correr-Sobrinho L. The area of adhesive continuity: a new concept for bonded ceramic restorations. *Quintessence of Dental Technology (QDT)*. 2013; **36(1)**: 9-26. Available from: <https://www.ebsco.com>.
7. De Souza G, Braga RR, Cesar PF, Lopes GC. Correlation between clinical performance and degree of conversion of resin cements: a literature review. *Journal of Applied Oral Science*. 2015; **23(4)**: 358-68. doi:10.1590/1678-775720140524.
8. Elsayad I. Cuspal movement and gap formation in premolars restored with preheated resin composite. *Operative Dentistry*. 2009; **34(6)**: 725-31. doi:10.2341/09-012-L.
9. Goulart M, Velleda BB, Damin D, Ambrosano GMB, De Souza FHC, Erhardt MCG. Preheated composite resin used as a luting agent for indirect restorations: effects on bond strength and resin-dentin interfaces. *International Journal of Esthetic Dentistry*. 2018; **13(1)**. Available from: <https://www.ebsco.com>.

10. Yang J, Silikas N, Watts DC. Pre-heating time and exposure duration: effects on post-irradiation properties of a thermo-viscous resin-composite. *Dental materials*. 2020; **36(6)**: 787-793. doi:10.1016/j.dental.2020.03.025.
11. Alvarado MSU, García DME, Guillén AJP, Arriaga JCF, Ramírez GFR, Magdaleno MO. Evaluation of the bond strength and marginal seal of indirect restorations of composites bonded with preheating resin. *European Journal of Dentistry*. 2020; **14(4)**: 644-650. doi:10.1055/s-0040-1716630.
12. Marcondes RL, Lima VP, Barbon FJ, Isolan CP, Carvalho MA, Salvador MV, Lima AF, Moraes RR. Viscosity and thermal kinetics of 10 preheated restorative resin composites and effect of ultrasound energy on film thickness. *Dental Materials*. 2020; **36(10)**: 1356-1364. doi:10.1016/j.dental.2020.08.004.
13. Elkaffass AA, Eltoukhy RI, Mahmoud SH. Influence of preheating on mechanical and surface properties of nanofilled resin composites. *Journal of clinical and experimental dentistry*. 2020; **12(5)**: 494. doi:10.4317/jced.56469.
14. Gugelmin BP, Miguel LCM, Filho FB, Da Cunha LF, Correr GM, Gonzaga CC. Color stability of ceramic veneers luted with resin cements and pre-heated composites: 12 months follow-up. *Brazilian dental journal*. 2020; **31(1)**: 69-77. doi:10.1590/0103-6440202002842.
15. Loumprinis N, et al. Viscosity and stickiness of dental resin composites at elevated temperatures. *Dental Materials*. 2021; **37(3)**: 413-422. doi:10.1016/j.dental.2020.11.024.
16. Zeller DK, Fischer J, Rohr N. Viscous behavior of resin composite cements. *Dental Materials Journal*. 2021; **40(1)**: 253-259. doi:10.4012/dmj.2019-313.
17. Coelho NF, Barbon FJ, Machado RG, Boscato N, Moraes RR. Response of composite resins to preheating and the resulting strengthening of luted feldspar ceramic. *Dental Materials*. 2019; **35(10)**: 1430-1438. Available from: <https://www.proquest.com>.
18. Raposo CC. Estudo de propriedades físico-químicas e mecânicas de resinas compostas pré-aquecidas [tese]. São Luís: Universidade Federal do Maranhão; 2022. Available from: <http://www.tedebc.ufma.br:8080/jspui/handle/tede/4453>.
19. Lee IB, Son HH, Um CM. Rheologic properties of flowable, conventional hybrid, and condensable composite resins. *Dental Materials*. 2003; **19(4)**: 298-307. doi:10.1016/S0109-5641(02)00058-1.
20. Abdel-Maksoud HB, Eid BM, Hamdy M, Abdelaal HM. Optimizing fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars restored with preheated thermos-viscous

- composite post-thermocycling: a comparative study. Part I. *BMC Oral Health.* 2024; **24(1)**: 295. doi:10.1186/s12903-024-03959-7.
21. Liberato WF, et al. Luting laminate veneers: do resin-composites produce less polymerization stress than resin cements? *Dental Materials.* 2023; **39(12)**: 1190-1201. doi:10.1016/j.dental.2023.09.010.

ANEXO A – NORMAS DA REVISTA

Revista Operative Dentistry

Pesquisa Clínica e Laboratorial e Artigos Convidados

FECHAR

Manuscritos de pesquisa clínica e laboratorial e artigos convidados devem incluir, como parte da narrativa:

- um título
- um título abreviado
- uma declaração de relevância clínica
- um resumo conciso (pode ser em formato abstrato)
- uma introdução
- métodos e materiais
- resultados
- uma discussão
- uma conclusão
- referências

Requisitos de referência

FECHAR

As REFERÊNCIAS devem ser numeradas (com números sobreescritos) consecutivamente, conforme aparecem no texto e, quando aplicável, devem aparecer após a pontuação.

A lista de referências deve ser organizada em ordem numérica no final do manuscrito e deve incluir:

1. Sobrenome(s) do(s) autor(es) seguido(s) da(s) inicial(is) (TODOS OS AUTORES devem ser listados; utilizamos a vírgula de Oxford para o último autor em uma lista (, &)), seguida da data de publicação entre parênteses.
2. Título completo do artigo. Apenas a primeira palavra do título do artigo deve ser escrita com inicial maiúscula.
3. Nome completo do periódico em *italico* (sem abreviações), número do volume e número da edição em **negrito** e números da primeira e última página completos (ex.: 163-168, NÃO abreviado 163-68).
4. Resumos devem ser evitados sempre que possível, mas, se utilizados, devem incluir as informações acima, além do número do resumo e do número da página.
5. Capítulos de livros devem incluir o título do capítulo, o título do livro em *italico*, os nomes dos editores (se aplicável), o nome da editora e o endereço de publicação.
6. Sites da internet podem ser usados como referência, mas devem incluir a data (dia, mês e ano) de acesso à informação.
7. Artigos em processo de publicação devem ser incluídos nas referências somente se tiverem sido aceitos para publicação por um periódico e, nesse caso, citados da maneira padrão, com a expressão “No prelo” após o nome do periódico.
8. NÃO inclua dados não publicados ou comunicações pessoais na lista de referências. Cite essas referências entre parênteses no texto e inclua a data.
9. Referências que contenham DOIs (Identificadores de Objetos Digitais) do Crossref.org devem sempre ser exibidas ao final da referência como URLs permanentes. O prefixo <http://dx.doi.org/> pode ser adicionado ao DOI listado para criar este URL. Exemplo: <http://dx.doi.org/10.1006/jmbi.1995.0238>

Obrigatório para TODOS os manuscritos.

Lar / Autor/Revisor para periódico /Instruções aos Autores /Especificações técnicas para submissão / Obrigatório para TODOS os manuscritos.

Todos os manuscritos submetidos estarão sujeitos à possibilidade de publicação exclusivamente online em nosso site: <https://meridian.allenpress.com/operative-dentistry>. Esses artigos em formato eletrônico serão paginados com o prefixo "e" e terão um DOI totalmente citável. Caso não tenha interesse na possibilidade de publicação do seu artigo exclusivamente online, por favor, não o submeta. Sua autorização para publicação eletrônica nos ajudará a publicar manuscritos ainda mais rapidamente do que no passado.

Precisaremos do seu arquivo de texto (arquivo original do Word) para dimensionar seu manuscrito corretamente. Nossos sistemas mesclarão automaticamente o arquivo de texto que você enviar com os arquivos de figuras e tabelas, criando um único arquivo PDF do artigo. Isso permite que editores e revisores visualizem e/ou baixem seu manuscrito em uma única etapa. Se alguma das suas figuras estiver ilegível ou se os tamanhos das figuras estiverem muito grandes ou muito pequenos (veja abaixo), seu manuscrito será devolvido para que você possa corrigir esses problemas. Seu manuscrito só será considerado oficialmente submetido após ser aprovado em nossa verificação inicial de qualidade e após a correção desses problemas (se houver).

Antes de submeter um manuscrito, reúna as seguintes informações, conforme indicado pelo tipo de artigo:

O AUTOR CORRESPONDENTE deve fornecer um endereço de e-mail VÁLIDO/FUNCIONAL que será usado para toda a comunicação com a revista.

Todos os autores:

Nomes próprios, nomes do meio/iniciais, sobrenomes
Informações sobre a formação acadêmica do autor, instituição de ensino atual, endereço postal e número de telefone comercial.
Endereços de e-mail
IDs ORCID (16 dígitos)

A MENÇÃO DE PRODUTOS/EQUIPAMENTOS COMERCIAIS deve incluir:

- nome completo do produto
- Nome completo do fabricante
- Cidade, estado e país de fabricação

Título e título abreviado (você pode copiar e colar isso do seu manuscrito). Título abreviado: Esta é simplesmente uma versão mais curta do título usado nas páginas seguintes e em nosso banco de dados para relatórios, etc.

19/11/2025, 10:50

Requerido para TODOS os manuscritos – Odontologia Operatória

Declaração de Relevância Clínica. Este documento é obrigatório para a submissão e deve constar tanto no campo de dados do manuscrito, ao inserir as informações iniciais, quanto no texto do manuscrito.

Resumo (você pode copiar e colar este trecho do seu manuscrito).

Arquivos do manuscrito e tabelas em formato Word. (Por favor, inclua o resumo e as legendas das figuras no arquivo de texto.)

As tabelas podem ser enviadas em formato Word (.doc e .docx) ou Excel (.xls e .xlsx). Todas as tabelas devem ser legíveis, com fontes de tamanho não inferior a 7 pontos. As tabelas têm as seguintes limitações de tamanho: em formato perfil, uma tabela não deve ser maior que 7 x 9 polegadas; tabelas em formato paisagem não devem ter mais de 7 polegadas de largura. A preferência do editor é que as tabelas não precisem ser rotacionadas para serem impressas, pois isso interrompe o fluxo de leitura.

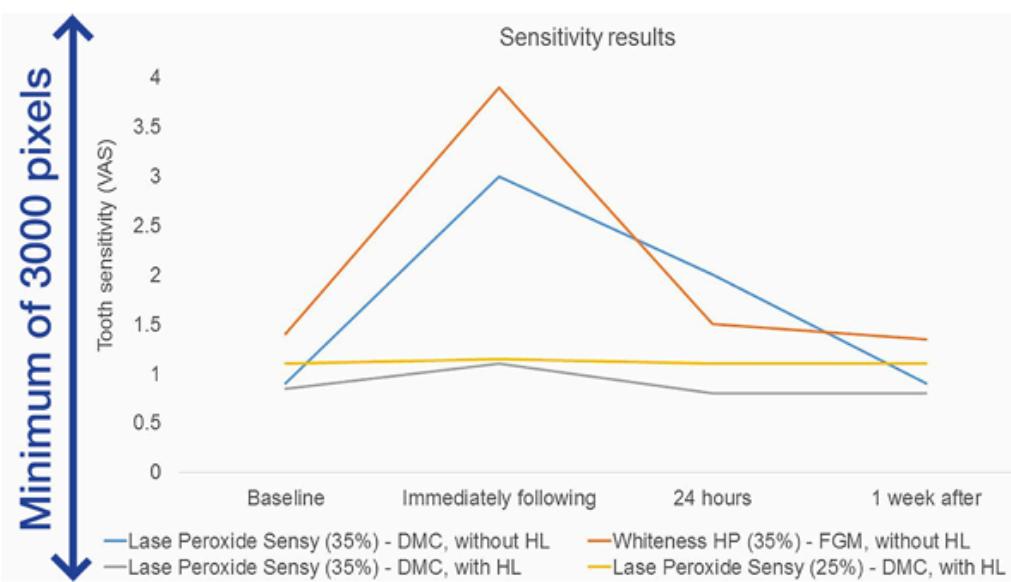
As referências devem ser numeradas (com algarismos árabicos sobrescritos... 1, 2, 3 etc.) consecutivamente, conforme aparecem no texto e, quando aplicável, devem aparecer após a pontuação. Veja exemplos abaixo.

Para fins de impressão, solicitamos que os arquivos das figuras estejam em formato TIFF ou JPG e sejam enviados separadamente como arquivos de origem, não em PDF. Não é permitido incorporar as figuras, gráficos ou tabelas no manuscrito.

As fotografias submetidas à revista Operative Dentistry devem ser apresentadas sem retoques; podem ser recortadas, anotadas e/ou agrupadas com outras fotos, mas cada foto deve permanecer sem retoques.

As figuras devem ter qualidade para publicação e atender aos seguintes parâmetros:

Os desenhos em linha (e tabelas enviadas como imagem) devem ter o menor lado com no mínimo 5 polegadas. A resolução mínima é de 600 dpi e a máxima de 1200 dpi. Isso significa que o menor lado não deve ter menos de 3000 pixels.

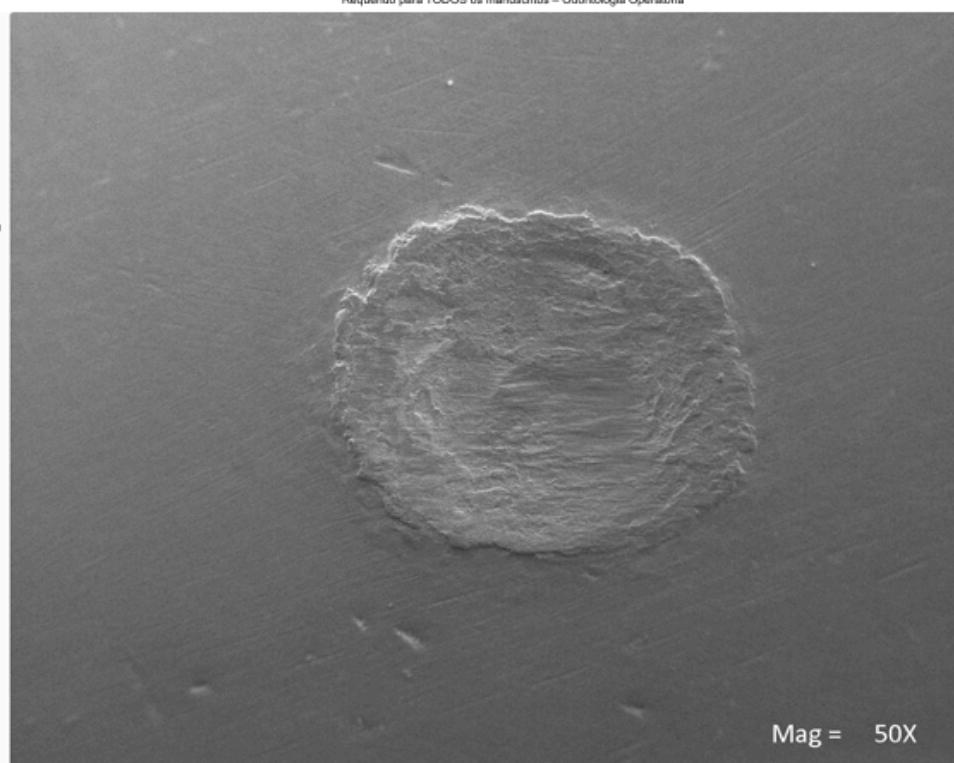


As figuras em tons de cinza/preto e branco devem ter o lado menor com no mínimo 5 polegadas. A resolução mínima é de 300 dpi e a máxima de 400 dpi. Isso significa que o lado menor não deve ter menos de 1500 pixels.

19/11/2025, 10:50

Requerido para TODOS os manuscritos – Odontologia Operatória

<-Minimum of 1500 pixels->



As figuras e fotografias coloridas devem ter o lado menor com no mínimo 3,5 polegadas. A resolução deve ser de no mínimo 300 dpi e no máximo 400 dpi. Isso significa que o lado menor não deve ter menos de 1050 pixels.

<- Minimum of 1050 pixels ->



19/11/2025, 10:50

Requerido para TODOS os manuscritos – Odontologia Operatória

O TEXTO DO MANUSCRITO NÃO DEVE CONTER NENHUMA INFORMAÇÃO QUE IDENTIFIQUE O(S) AUTOR(ES), COMO NOMES OU ENDEREÇOS, AGRADECIMENTOS, INFORMAÇÕES DO COMITÉ DE ÉTICA, ETC. ESSES ITENS SÃO INSERIDOS SEPARADAMENTE DURANTE O PROCESSO E SERÃO INCORPORADOS AO DOCUMENTO FINAL PELO COMPUTADOR. QUAISQUER MANUSCRITOS COM INFORMAÇÕES DE IDENTIFICAÇÃO NO ARQUIVO PRINCIPAL SERÃO DEVOLVIDOS AO AUTOR PARA CORREÇÃO. LEMBRE-SE, NOSSA REVISÃO POR PARES É DUPLO-CEGA PARA GARANTIR QUE NOSSOS LEITORES TENHAM ACESSO A DADOS DA MAIS ALTA QUALIDADE POSSÍVEL.

Seguir @jopdent

Like

Direitos autorais 2020 Operative Dentistry, Inc.