

## Avaliação da solubilização e rugosidade superficial de três cimentos endodônticos

Evaluation of solubilization and surface roughness of three endodontic sealers

Evaluación de la solubilización y rugosidad superficial de tres cementos endodónticos

Recebido: 18/10/2022 | Revisado: 29/10/2022 | Aceitado: 01/11/2022 | Publicado: 08/11/2022

### **Eduarda Mello de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6194-3120>  
Centro Universitário de Patos de Minas, Brasil  
E-mail: [eduardamello@unipam.edu.br](mailto:eduardamello@unipam.edu.br)

### **Ana Caroline Soares Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8963-4223>  
Centro Universitário de Patos de Minas, Brasil  
E-mail: [anacso@unipam.edu.br](mailto:anacso@unipam.edu.br)

### **Gabriela Alves Rodrigues**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6893-2803>  
Centro Universitário de Patos de Minas, Brasil  
E-mail: [gabrielaar@unipam.edu.br](mailto:gabrielaar@unipam.edu.br)

### **Isabela Lopes Palhares**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6398-5930>  
Centro Universitário de Patos de Minas, Brasil  
E-mail: [isabelalp@unipam.edu.br](mailto:isabelalp@unipam.edu.br)

### **Daniella Cristina Borges**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5424-5367>  
Centro Universitário de Patos de Minas, Brasil  
E-mail: [deborges@unipam.edu.br](mailto:deborges@unipam.edu.br)

### **Leonardo Biscaro Pereira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9790-9082>  
Centro Universitário de Patos de Minas, Brasil  
E-mail: [leonardobiscaro@unipam.edu.br](mailto:leonardobiscaro@unipam.edu.br)

### **Resumo**

O tratamento endodôntico possui a finalidade de realizar a completa obturação do espaço do canal radicular, promovendo o máximo selamento do sistema de canais radiculares. O cimento endodôntico é responsável por promover o selamento do sistema de canais radiculares, evitando, assim, micro-infiltrações e contaminação por agentes intrínsecos ou extrínsecos. Os cimentos são considerados satisfatórios quando apresentam solubilidade inferiores a 3% da fração de massa e sem sinais de desintegração. O objetivo deste trabalho foi avaliar a solubilidade de cimentos endodônticos constituídos por diferentes bases, no que diz respeito a rugosidade e a perda de massa dos mesmos. Para isso, foram confeccionados corpos de prova com 3mm de diâmetro e 2mm de espessura dos seguintes cimentos: Endofill, MTA-Fillapex e Bio-C Sealer. As amostras foram analisadas antes e após a solubilização em água destilada quanto à perda de massa e rugosidade superficial. Os resultados demonstraram que o cimento Bio-C Sealer obteve uma taxa de solubilização estatisticamente maior quando comparado aos demais cimentos, mas, ainda dentro dos valores estabelecidos pela normativa ISO. Também houve variação na rugosidade superficial com aumento da rugosidade para os cimentos Endofill e MTA-Fillapex, e redução para o cimento Bio-C Sealer, sendo esse estatisticamente diferente dos demais. Concluímos que todos os cimentos testados atenderam a normativa ISO e os resultados sugerem uma correlação entre solubilidade e rugosidade, sendo necessários mais estudos para confirmar e melhor explicar esta correlação.

**Palavras-chave:** Endodontia; Cimento obturador endodôntico; Solubilidade.

### **Abstract**

Endodontics treatment aims to filling the root canal space, promoting maximum sealing of the root canal system. The endodontic sealer is responsible for promoting the sealing of the root canal system, thus avoiding micro-leakage and contamination by intrinsic or extrinsic agents. Sealers are considered satisfactory when they present a solubility lower than 3% of the mass fraction and without signs of disintegration. The objective of this work was to evaluate the solubility of endodontic sealers made up of different bases, with regard to their roughness and mass loss. For this, specimens with 3mm in diameter and 2mm in thickness were made of the following sealers: Endofill, MTA-Fillapex and Bio-C sealer. The samples were analyzed before and after solubilization in distilled water for weight loss and surface roughness. The results showed that the Bio-C sealer had a statistically higher solubilization rate when compared to the other, however within the values established by the ISO standard. There was also variation in surface roughness with increased roughness for Endofill and MTA-fillapex sealers and reduction for Bio-C sealer, which was statistically different from

the others. We conclude that all tested sealer complied with ISO standards and the results suggest a correlation between solubility and roughness, and further studies are needed to confirm and better explain this correlation.

**Keywords:** Endodontics; Endodontic sealers; Solubility.

### Resumen

El tratamiento de endodoncia tiene como objetivo completar el relleno del espacio del conducto radicular, promoviendo el máximo sellado del sistema de conductos radiculares. El cemento endodóntico es el encargado de promover el sellado del sistema de conductos radiculares, evitando así la microfiltración y la contaminación por agentes intrínsecos o extrínsecos. Los cementos se consideran satisfactorios cuando presentan una solubilidad inferior al 3% de la fracción másica y sin signos de disgregación. El objetivo de este trabajo fue evaluar la solubilidad de cementos endodónticos elaborados a partir de diferentes bases, en cuanto a su rugosidad y pérdida de masa. Para ello se realizaron probetas de 3mm de diámetro y 2mm de espesor de los siguientes cementos: Endofill, MTA-Fillapex y Bio-C Sealer. Las muestras se analizaron antes y después de la solubilización en agua destilada para determinar la pérdida de peso y la rugosidad de la superficie. Los resultados mostraron que el cemento Bio-C Sealer obtuvo una tasa de solubilización estadísticamente mayor al compararlo con otros cementos, pero aún dentro de los valores establecidos por la norma ISO. También hubo variación en la rugosidad de la superficie con una mayor rugosidad para los cementos Endofill y MTA-Fillapex, y una reducción para el cemento Bio-C Sealer, que fue estadísticamente diferente de los demás. Concluimos que todos los cementos probados cumplieron con las normas ISO y los resultados sugieren una correlación entre la solubilidad y la rugosidad, y se necesitan más estudios para confirmar y explicar mejor esta correlación.

**Palabras clave:** Endodoncia; Cemento obturador endodóntico; Solubilidad.

## 1. Introdução

O tratamento endodôntico possui o objetivo de realizar a completa obturação do espaço do canal radicular, promovendo o máximo selamento do sistema de canais radiculares. Uma obturação de qualidade é obtida com o emprego de material sólido (guta percha) associado a material plástico (cimento endodôntico), sendo o último, responsável por promover o selamento do sistema de canais radiculares, evitando assim micro-infiltrações e contaminação por agentes intrínsecos ou extrínsecos (Kaur et al., 2015; Fonseca et al., 2019).

A disponibilidade de cimentos endodônticos com propriedades físico-químicas adequadas representa importante passo rumo ao desejado selamento hermético do sistema de canais radiculares (Silva et al., 2013). Por se tratar de materiais, que levam em sua composição outros compostos químicos, o sucesso do tratamento endodôntico mantém relação direta com suas propriedades físico-químicas, tais como, biocompatibilidade, citotoxicidade, sorção e solubilidade (Bastos; Vitti; Casonato Júnior, 2021). Além disso, cimentos endodônticos podem ter efeito antimicrobiano dependendo de sua composição química (Gjorgievska et al., 2012).

Dentre os aspectos físico-químicos dos cimentos endodônticos, a solubilidade apresenta um papel importante. Pois há a possibilidade de ocorrer o contato direto do material com os tecidos perirradiculares, e estes sofrem ação dos fluídos teciduais assim que são aplicados no interior do sistema de canais radiculares (Silva et al., 2013; Moura et al., 2014). A ação desses fluídos teciduais, via forame apical e via ramificações apicais e laterais, acarreta a sua dissolução com consequente perda da integridade da interface cimento obturador e parede dentinária, resultando em um selamento ineficiente (Silva et al., 2013). Materiais com potencial mais solúvel tendem a liberar substâncias irritantes e aumentar o risco de dispersão e colonização de bactérias na área periapical (Almeida et al., 2020).

Os cimentos são considerados satisfatórios quando apresentam solubilidade inferior a 3% da fração de massa e sem sinais de desintegração (ISO 6876, 2012; Torres et al., 2019). No mercado odontológico brasileiro é possível encontrar uma variedade de cimentos endodônticos disponíveis comercialmente apresentando diferentes composições químicas e propriedades físico-mecânicas. Dentre estes, podemos citar o Endofill (Dentsplay Indústria e Comércio Ltda., Petrópolis, RJ, Brasil), um cimento à base de óxido de zinco e eugenol componentes que possuem ação bactericida (Teixeira et al., 2021), e um dos mais utilizados no Brasil e no mundo, possuindo resultados clínicos satisfatórios ao longo de décadas de pesquisas.

Por outro lado, o mercado disponibiliza materiais com o MTA Fillapex (Angelus, Londrina, Paraná, Brasil), que em sua

composição possui como ingrediente principal o MTA, resinas, óxido de bismuto, sílica nanoparticulada. Além de cimentos à base de MTA estimularem a mineralização e depositarem cristais semelhantes a apatita ao longo da parede do canal radicular (Silva et al., 2013; Shakya et al., 2016). E o Bio-C Sealer (Angelus, Londrina, Paraná, Brasil), que é um biocerâmico, alcalino e não resinoso. Contêm silicatos de cálcio, que são hidratados por contato com umidade local, formando uma estrutura de silicato de cálcio hidratado e íons cálcio e hidroxila, incorporando como radiopacificador o óxido de zircônio (Li et al., 2016).

Com o intuito de orientar os profissionais da área odontológica, auxiliando-os na escolha de materiais mais previsíveis, esse trabalho tem como objetivo avaliar a solubilidade de cimentos endodônticos constituídos por diferentes bases, no que diz respeito à rugosidade e a perda de massa dos mesmos.

## 2. Metodologia

Trata-se de uma pesquisa laboratorial, de modalidade experimental, com uma abordagem quantitativa, finalidade aplicada e objetivo descritivo exploratório (Estrela, 2018).

A realização da avaliação da solubilidade/degradação dos cimentos endodônticos estudados, foi realizada utilizando como parâmetro a especificação ISO 6876:2012. Para isso, foram utilizadas 30 placas de acrílico, quadradas com um centímetro de largura e dois milímetros de espessura. No centro de cada placa foi confeccionado um furo com três milímetros de diâmetro.

Três marcas comerciais de cimentos endodônticos disponíveis no mercado nacional foram selecionadas:

- Endofill (Dentsply Indústria e Comércio Ltda., Petrópolis, RJ, Brasil)
- Bio-C Sealer (Angelus, Londrina, Paraná, Brasil)
- MTA Fillapex (Angelus, Londrina, Paraná, Brasil)

Para cada cimento foram confeccionados dez corpos de prova, originando três grupos experimentais: Grupo 1 (G1) - Cimento Endofill® e Grupo 2 (G2)– Bio-C Sealer, Grupo 3 (G3) – MTA-Fillapex.

Os cimentos foram manipulados de acordo com as orientações dos fabricantes, inseridos nos corpos de prova em incremento único e prensados entre duas placas de vidro. Para que ocorresse a completa reação de presa, as amostras foram mantidas em estufa a 37° Celsius com umidade 100% por um período de 24 horas. O cimento Bio-C Sealer, após 24 horas não apresentou reação de presa, sendo necessário manter esse material por mais 48 h, para que houvesse a sua presa completa. Além disso, após a presa dos cimentos, os mesmos foram mantidos na estufa por mais 24 horas a 37° Celsius para a completa remoção da umidade.

Finalizado o processo de presa e secagem das amostras os corpos de prova foram pesados em balança analítica com precisão de 0,1mg sempre pelo mesmo operador. Os valores obtidos foram tabulados para posterior análise estatística.

Após a pesagem foi realizada a avaliação quantitativa da rugosidade superficial dos corpos de prova utilizando o rugosímetro de superfície (Rugosímetro portátil digital Mitutoyo SJ210 modelo 178-561-02A). A leitura foi realizada acompanhando-se o diâmetro do corpo de prova, partindo-se da sua região periférica para o centro do corpo de prova, percorrendo 2mm sob a superfície da amostra e evitando assim o contato da ponta de leitura com as bordas do orifício onde inseriu-se o cimento. O aparelho possui uma ponta apalpadora com tamanho de 0,005 mm de raio que se desloca a uma velocidade de 0,5mm/s. Os valores obtidos foram expressos em micrometros ( $\mu\text{m}$ ) e representam a média de picos e vales encontrados na superfície do material e, sendo que leituras foram realizadas sempre pelo mesmo operador.

Em seguida, a pesagem e leitura da rugosidade superficial de todas as amostras, foram colocadas individualmente em tubos de ensaio contendo 10 mL de água destilada e novamente levadas à estufa a 37°C, por 24 horas. Após este período as amostras foram removidas dos tubos, secadas suavemente com papel absorvente, acondicionadas em outros tubos secos e outra vez levadas para a estufa por mais 24h, a 37° C, com o intuito de remover qualquer umidade residual decorrente do processo de solubilização.

Após este processo uma nova pesagem e avaliação da rugosidade foi efetuada seguindo os mesmos passos descritos anteriormente. Os resultados foram tabulados e analisados utilizando o teste de Kruscal-Wallis para amostras independentes, com um  $p < 0,05$ .

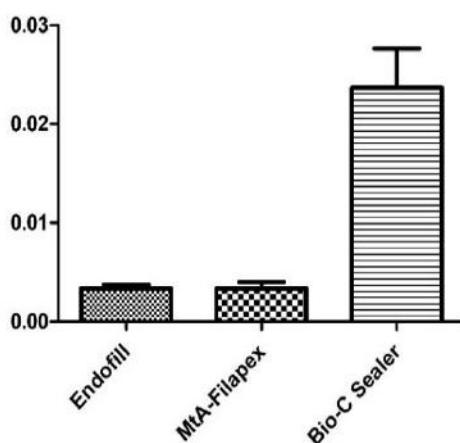
### 3. Resultados e Discussão

A partir do modelo experimental descrito foi possível detectar que todos os cimentos apresentaram algum grau de solubilização com conseqüente perda de massa. Os valores médios iniciais e finais em porcentagem da massa de cada grupo estão demonstrados no Gráfico 1.

Foram feitas comparações entre os grupos e os resultados demonstraram uma diferença estatística significativa entre o cimento Bio-C Sealer – MTA-Fillapex ( $p < 0,0005$ ) e Bio-C Sealer - EndoFill ( $p < 0,002$ ). As outras comparações, MTA-Fillapex – EndoFill não apresentaram diferenças estatísticas. Todos os cimentos avaliados atenderam a normativa ISO 6876, que estabelece uma perda máxima de massa em porcentagem de até 3%. Os valores obtidos neste estudo foram de 0,34% para o Endofill, 0,40% para o MTA-Fillapex e de 2,39% para o BIO-C Sealer.

No Gráfico 1, é importante observar que todos os cimentos testados apresentaram perda de massa após a solubilização. O cimento Bio-C Sealer, demonstrou a maior perda quando comparado aos demais materiais.

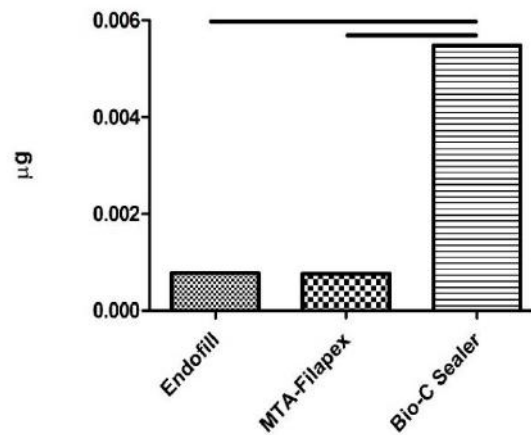
**Gráfico 1** - Porcentagem de perda de massa dos cimentos endodônticos.



Fonte: Autores (2022).

Os valores da massa inicial e massa final foram analisados utilizando-se o teste para dados não paramétricos Kruscal-Wallis com um nível de significância de  $p < 0,05$ . Foi possível detectar diferença estatisticamente significativa do cimento Bio-C Sealer com Endofill, e Bio-C Sealer com MTA-Fillapex. Os resultados estão demonstrados no Gráfico 2.

**Gráfico 2** - Teste para dados não paramétricos de Kruskal-Wallis evidenciado a diferença estatística entre a massa inicial e final das amostras.



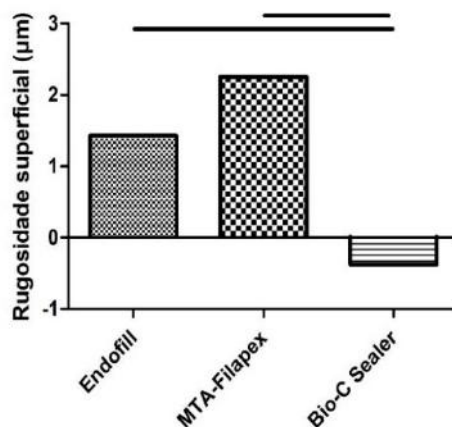
Fonte: Autores (2022).

É demonstrado (Gráfico 2) o valor médio de perda de massa em microgramas, de cada cimento testado. Após a utilização do teste estatístico de Kruskal-Wallis, evidenciou a diferença estatística entre o cimento Bio-C Sealer e os demais. É importante destacar, que a maior solubilidade de um cimento, tende a interferir diretamente em sua capacidade de selamento, o que pode comprometer a integridade da obturação do canal radicular.

Ao analisar a rugosidade superficial dos cimentos antes e após a solubilização detectou-se comportamento distinto quando comparamos os cimentos Endofill e MTA-Filapex. Os cimentos Endofill e MTA-Filapex apresentaram respectivamente um aumento percentual da rugosidade de 101% e 134%, enquanto, o Bio-C Sealer apresentou um a redução da rugosidade média na ordem de 137%. Os valores das diferenças entre a rugosidade inicial e final foram analisados estatisticamente utilizando o teste Kruskal-Wallis para dados não paramétricos com um nível de significância de  $p < 0,05$ . Os resultados obtidos estão expressos no (Gráfico 3).

É possível observar (Gráfico 3) o comportamento distinto do cimento Bio-C Sealer em relação aos demais materiais testados. Uma vez que, os cimentos Endofill e MTA – Filapex apresentaram aumento de sua rugosidade superficial. E, o cimento Bio-C Sealer demonstrou redução desse valor. A redução da rugosidade superficial do cimento Bio-C Sealer, parece estar diretamente relacionada, a sua maior solubilidade, sendo importante a realização de novos trabalhos para obter elucidação dessa relação e de como ela pode interferir no desempenho clínico do material.

**Gráfico 3** – Teste para dados não paramétricos de Kruskal-Wallis evidenciando a diferença entre valores da rugosidade superficial inicial e final dos cimentos analisados.



Fonte: Autores (2022).

Uma obturação de qualidade é obtida com o emprego de material sólido à guta percha, associado a material plástico (cimento endodôntico), sendo o último, responsável por promover o selamento do espaço do sistema de canais radiculares, evitando assim micro infiltrações e contaminação por agentes intrínsecos e/ou extrínsecos (Kaur et al., 2015; Fonseca et al., 2019).

A solubilidade dos materiais de selamento do sistema de canais radiculares tende a interferir no sucesso do tratamento endodôntico (Torres et al., 2019). Essa propriedade é caracterizada pela perda de massa de um material após a sua solubilização em água. De acordo com as normativas ANSI/ADA 57 e International Organization for Standardization (ISO), a solubilidade dos cimentos endodônticos deve exibir valores inferiores a 3% da fração de massa e sem sinais de desintegração, após imersão em água por 24 horas (ANSI/ADA, 2000; ISO 6876, 2012; Torres et al., 2019).

Os resultados obtidos demonstraram que todos os cimentos testados atenderam a normativa, estando aptos para o uso clínico. Diferentemente do que foi descrito por Bastos, Vitti e Casonato Júnior (2021), os quais apontaram que o Bio-C e o MTA-Fillapex, possuem solubilidade maior do que 3%, tendo percentual de 37,39% e 24,87%, respectivamente. Outros autores também relatam que o cimento endodôntico Bio-C Sealer ultrapassou o limite de 3% de solubilidade, achado mencionado por Zordan-Bronzel et al. (2019), onde a solubilidade do obturador excedeu aos 10% de perda de massa em seu estudo. O próprio autor sugere que à liberação de íons  $\text{OH}^-$   $\text{Ca}^{2+}$  em materiais à base de silicato de cálcio predispõe à solubilidade do material.

Um fator que pode ter influenciado na divergência dos resultados obtidos nesse trabalho com os demais descritos na literatura, pode estar relacionado com o tempo que se manteve o cimento em estufa (72h) na presença de 100% de umidade para aguardar a reação de presa completa do mesmo.

Segundo Mendes et al. (2018) e Bastos, Vitti e Casonato Júnior (2021), a alta solubilidade do Bio-C Sealer pode estar relacionada com as nano partículas hidrofílicas presentes em sua composição. Este fato que aumenta a sua área superficial e permite que uma quantidade maior partículas do cimento entrem em contato com a água.

O MTA-Fillapex é um cimento endodôntico à base de agregado de trióxido mineral (MTA), composto por silicato de cálcio. Abu Zeid et al. (2021) relatam que este cimento apresenta alta solubilidade, sendo que essa vai aumentando de forma gradual, até atingir 4% de perda da fração de massa após 28 dias. No entanto, este estudo, descreve que com apenas um dia de solubilização, o cimento MTA-Fillapex apresentou uma taxa aceitável, indo de encontro com a normativa ISO, fato este que corrobora com os achados de nosso estudo.

Os resultados do trabalho de Bastos, Vitti e Casonato Júnior (2021) divergem dos resultados de Abu Zeid et al. (2021) e também do nosso estudo, pois relatam uma alta solubilidade para o MTA-Fillapex, com valores acima do limite aceitável, após um período de solubilização de 24h, com perda percentual de 24,87%.

Um cimento excessivamente solúvel pode permitir o desenvolvimento de lacunas entre a dentina radicular e o material, proporcionando vias de comunicação com os tecidos periapicais e a cavidade bucal (Al-haddad & Aziz, 2016), sendo esse fato desfavorável, na medida em que a desintegração do cimento possibilita o início de reações inflamatórias e de citotoxicidade (Lee et al., 2017). Ao longo do tempo, a solubilidade de um cimento pode atuar afetando negativamente o isolamento de microrganismos resistentes à desinfecção, comprometendo potencialmente o sucesso do tratamento endodôntico, como pontuam Saavedra et al. (2022).

A solubilidade encontrada no Endofill pode ser devido à perda de eugenol da matriz do cimento. Contudo, esse material não excedeu aos 3% de perda de massa determinada pela normatização da ANSI/ADA ao longo do estudo.

Alterações microestruturais na superfície dentinária, como as diferenças na rugosidade, podem exercer potencial influência no processo de união dos materiais obturadores à dentina. É sabido que o aumento da rugosidade diminui o ângulo de contato e aumenta a molhabilidade, devido ao aumento da área de superfície. Nessa perspectiva, as modificações na rugosidade da superfície dentinária tendem a prejudicar a molhabilidade dos cimentos endodônticos e, como consequência, afetar o processo de adesão dos cimentos endodônticos (Prado et al., 2014). Diante desta avaliação, podemos estabelecer um paralelo, relacionando a rugosidade e perda de massa de cimentos endodônticos com o aumento na infiltração de fluidos bucais ou periapicais na massa obturadora. Cimentos solúveis e com sinais de perda de massa e desintegração, tendem a ser mais rugosos. A rugosidade pode induzir a presença de lacunas no interior do material obturador permitindo a formação de micro infiltrações e estabelecendo uma via de comunicação que possibilita a passagem de microrganismos e fluidos corporais, sendo essa uma das explicações para os insucessos do tratamento endodôntico.

Os resultados obtidos com esta pesquisa sugerem que o aumento da rugosidade superficial dos cimentos (Endofill e MTA-Fillapex) estaria relacionado ao tamanho de suas partículas, uma vez que o processo de solubilização deixaria as partículas inorgânicas (insolúveis) expostas ao meio. Correlacionando-se o resultado do aumento da solubilidade do cimento Bio-C Sealer com a sua menor rugosidade superficial, podemos supor que isto associa-se ao fato deste material ser formado por nanopartículas, que quando solubilizadas, tornariam a sua superfície com uma rugosidade menor. No entanto, em função de não haver na literatura científica métodos padronizados de avaliação da rugosidade dos cimentos e de como esta propriedade pode influenciar no desempenho clínico do material, novos estudos são necessários para confirmar os resultados aqui obtidos.

#### **4. Conclusão**

De acordo com a metodologia empregada durante o estudo, conclui-se que todos os cimentos endodônticos exibiram certo grau de solubilização, mas, ainda dentro dos parâmetros estabelecidos pela normativa (ISO 6876). A rugosidade superficial do cimento, após a sua solubilização, foi maior para os cimentos Endofill e MTA-Fillapex e menor para o cimento BIO-C Sealer. Os resultados obtidos sugerem a existência de uma correlação entre as características de solubilidade e rugosidade dos cimentos endodônticos. Convém, a realização de mais estudos para investigar a influência dessas propriedades no desempenho clínico desses materiais.

#### **Agradecimentos**

Agradeço a oportunidade que me foi concedida, ao apoio dos meus colaboradores e do meu orientador. Vocês fazem parte disso.

## Referências

- Abu Zeid, S., Edrees, H. Y., Mokeem Saleh, A. A., & Alothmani, O. S. (2021). Physicochemical properties of two generations of MTA-based root canal sealers. *Materials*, 14(20), 5911.
- Al-Haddad, A. & Che Ab Aziz, Z. A. (2016). Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. *International journal of biomaterials*, 2016, 9753210.
- Almeida, M., Rodrigues, C., Matos, A., Carvalho, K., Silva, E., Duarte, M., & Bernardineli, N. (2020, 12). Analysis of the physicochemical properties, cytotoxicity and volumetric changes of AH Plus, MTA Fillapex and TotalFill BC Sealer. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 12, e1058 – e1065.
- ANSI/ADA. Specification N° 57. *Endodontic Sealing Material*, Chicago, USA, 2000.
- Bastos, L. A. P., Vitti, R. P., & Casonato Junior, H. (2021). Sorption and solubility of bioceramic endodontic sealers and sealer based on epoxy resin.
- Estrela, C. (2018). *Metodologia científica: ciência, ensino e pesquisa*. Editora Artes Médicas.
- Fonseca, D. A., Paula, A. B., Marto, C. M., Coelho, A., Paulo, S., Martinho, J. P., Carrilho, E., & Ferreira, M. M. (2019). Biocompatibility of Root Canal Sealers: A Systematic Review of In Vitro and In Vivo Studies. *Materials (Basel, Switzerland)*, 12(24), 4113.
- Gjorgievska, E., Apostolska, S., Dimkov, A., Nicholson, J. W., & Kaftandzieva, A. (2012, 10). Incorporation of antimicrobial agents can be used to enhance the antibacterial effect of endodontic sealers. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*, 29, e29 – 34.
- International Organization for Standardization (ISO). (2001). *International Standard ISO-6876: Dental Root Canal Sealing Materials*.
- Kaur, A., Shah, N., Logani, A., & Mishra, N. (2015). Biototoxicity of commonly used root canal sealers: A meta-analysis. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 18(2), 83–88.
- Lee, J. K., Kwak, S. W., Ha, J. H., Lee, W., & Kim, H. C. (2017). Physicochemical properties of epoxy resin-based and bioceramic-based root canal sealers. *Bioinorganic chemistry and applications*, 2017,2582849.
- Li, X., Yoshihara, K., De Munck, J., Cokic, S., Pongprueksa, P., Putzeys, E., ... & Van Meerbeek, B. (2017). Modified tricalcium silicate cement formulations with added zirconium oxide. *Clinical oral investigations*, 21(3), 895-905.
- Mendes, A. T., Silva, P. B. D., Só, B. B., Hashizume, L. N., Vivian, R. R., Rosa, R. A. D., ... & Só, M. V. R. (2018). Evaluation of physicochemical properties of new calcium silicate-based sealer. *Brazilian dental journal*, 29, 536-540.
- Moura, C., Cristina Cunha, T., Oliveira Crema, V., Dechichi, P., & Carlos Gabrielli Biffi, J. (2014). A study on biocompatibility of three endodontic sealers: intensity and duration of tissue irritation. *Iranian endodontic journal*, 9(2), 137–143.
- Prado, M. D., Assis, D. F. D., & Simão, R. A. (2014). Efeito de diferentes soluções utilizadas como irrigante final na superfície dentinária: análise de rugosidade. *Revista de Odontologia da UNESP*, 43, 36-40.
- Saavedra, F. M., Pelepenko, L. E., Boyle, W. S., Zhang, A., Staley, C., Herzberg, M. C., ... & Lima, B. P. (2022). In vitro physicochemical characterization of five root canal sealers and their influence on an ex vivo oral multispecies biofilm community. *International Endodontic Journal*, 55(7):772-783.
- Shakya, V. K., Gupta, P., Tikku, A. P., Pathak, A. K., Chandra, A., Yadav, R. K., ... & Singh, R. K. (2016). An invitro evaluation of antimicrobial efficacy and flow characteristics for AH Plus, MTA Fillapex, CRCS and gutta flow 2 root canal sealer. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, 10(8), ZC104.
- Silva, E. J., Santos, C. C., & Zaia, A. A. (2013). Long-term cytotoxic effects of contemporary root canal sealers. *Journal of applied oral science : revista FOB*, 21(1), 43–47.
- Teixeira, A. B. V., Vidal, C. L., De Castro, D. T., de Oliveira-Santos, C., Schiavon, M. A. & Dos Reis, A. C. (2017). Incorporating antimicrobial nanomaterial and its effect on the antimicrobial activity, flow and radiopacity of endodontic sealers. *European Endodontic Journal*, 2(1), 1.
- Torres, F., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Bosso-Martelo, R., Espir, C. G., Camilleri, J., & Tanomaru-Filho, M. (2019). Solubility, Porosity, Dimensional and Volumetric Change of Endodontic Sealers. *Brazilian dental journal*, 30(4), 368–373.
- Zordan-Bronzel, C. L., Torres, F. F. E., Tanomaru-Filho, M., Chávez-Andrade, G. M., Bosso-Martelo, R., & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2019). Evaluation of physicochemical properties of a new calcium silicate–based sealer, Bio-C Sealer. *Journal of endodontics*, 45(10), 1248-1252.