

Análise da composição química dos cimentos MTA Angelus® branco, cinza e HP Repair® através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada a Espectrômetro de Energia Dispersiva (EDS)

Chemical analysis composition of MTA Angelus gray, white and HP Repair through Electron Microscopy (SEM) coupled by Energy Dispersive Spectrometer (EDS)

Gabriela Duarte Rocha SARZEDA^a , Marcelo Santos BAHIA^{**} ,
Paulo Víctor Teixeira DORIGUÊTTO^a , Karina Lopes DEVITO^a ,
Anamaria Pessoa Pereira LEITE^a

^a UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Odontologia, Juiz de Fora, MG, Brasil

Como citar: Sarzeda GDR, Bahia MS, Doriguêto PVT, Devito KL, Leite APP. Análise da composição química dos cimentos MTA Angelus® branco, cinza e HP Repair® através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada a Espectrômetro de Energia Dispersiva (EDS). Rev Odontol UNESP. 2019;48:e20190093. <https://doi.org/10.1590/1807-2577.09319>

Resumo

Introdução: Devido às suas propriedades biológicas e físico-químicas, o MTA tem sido indicado para diferentes situações clínicas na Endodontia. **Objetivo:** O objetivo foi analisar a composição química dos cimentos MTA Angelus branco, cinza, e Repair HP. **Material e método:** Foram confeccionados cinco corpos de prova de cada tipo de cimento estudado, com diâmetro de 4 mm e altura de 1 mm, utilizando fita condutora de carbono dupla face. Em seguida, as amostras foram analisadas com auxílio de um microscópio eletrônico de varredura acoplado ao aparelho de espectrometria de energia dispersiva. Posteriormente, foram submetidos ao teste estatístico Kolmogorov-Smirnov para verificar a normalidade. Os elementos químicos que apresentaram distribuição normal (média de 5%) foram submetidos ao teste ANOVA e o teste Kruskal-Wallis foi aplicado naqueles com distribuição assimétrica. **Resultado:** Após a análise dos elementos químicos, foram observados para o MTA branco: O, Na, K, Mg, Al, Si, Ca e Bi; para o MTA cinza: O, Mg, Al, Si, Ca, Bi, Fe e S, e para o Repair HP: O, Al, Mg, Si, Ca, Fe, Sr, C, Rb e W. Foram identificados 14 elementos químicos nas amostras analisadas (O, Na, Al, Mg, Si, S, K, Ca, Fe, Sr, Bi, C, Rb e W). Destes, cinco foram encontrados em todos os cimentos estudados: O, Al, Mg, Si e Ca. **Conclusão:** Os elementos Rb, W e C foram encontrados somente na nova formulação de MTA da Angelus, o Repair HP. Nas amostras analisadas, o Ca e o O foram os que se apresentaram em maior quantidade.

Descritores: Microscopia eletrônica de varredura; materiais dentários; endodontia.

Abstract

Introduction: Due to its biological and physicochemical properties, MTA has been indicated for different clinical situations in Endodontics. **Objective:** The objective was to analyze the chemical composition of MTA Angelus white, gray and Repair HP cements. **Material and method:** Five specimens of each type of cement studied were made, with 4mm diameter and 1mm height, using double-sided carbon conductive tape. Then, the samples were analyzed with the aid of a scanning electron microscope coupled to the dispersive energy spectrometry apparatus. They were later submitted to the Kolmogorov-Smirnov statistical test to verify normality. The chemical elements that presented normal distribution (average of 5%) were submitted to the ANOVA test and the Kruskal-Wallis test was applied to those with asymmetric distribution. **Result:** After the analysis of the chemical elements, it was observed for the white MTA: O, Na, K, Mg, Al, Si, Ca and Bi; for gray MTA: O, Mg, Al, Si, Ca, Bi, Fe and S; and for HP Repair: O, Al, Mg, Si, Ca, Fe, Sr, C, Rb and W. 14 chemical elements were identified in the samples analyzed (O, Na, Al, Mg, Si, S, K, Ca (Fe, Sr, Bi, C, Rb and W). Of these,



5 were found in all cements studied: O, Al, Mg, Si and Ca. **Conclusion:** The elements Rb, W and C were found only in Angelus' new MTA formulation, Repair HP. In the samples analyzed, Ca and O were the ones that presented the largest amount.

Descriptors: Microscopy, electron, scanning; dental materials; endodontics.

INTRODUÇÃO

O Agregado de Trióxido Mineral (MTA) foi desenvolvido na Universidade de Loma Linda (Califórnia, EUA) pelo Prof. Mahmoud Torabinejad, com o objetivo de selar comunicações entre o exterior e o interior do dente. Em 1999, foi lançado comercialmente como ProRoot MTA® (Dentsply Tulsa Dental, Oklahoma, USA). Posteriormente, a empresa Angelus Indústria de Produtos Odontológicas S.A., com sede no Paraná, Brasil, iniciou a comercialização do MTA nacional (MTA Angelus®) em 2001, na cor cinza, e em 2004, na cor branca. Nestas duas últimas formulações, o sulfato de cálcio (gesso), um dos componentes químicos do ProRoot MTA, foi suprimido a fim de reduzir os seus tempos de presa¹⁻⁴.

Devido às suas propriedades biológicas e físico-químicas, o MTA tem sido indicado para diferentes situações clínicas na Endodontia, dentre estas: em cirurgias parendodônticas, como material retrobturador, em casos de perfurações intrarradiculares e de furca; pulpotomia; capeamento pulpar; como tampão cervical em clareamento dental interno, e estimulador da apicificação e apicogênese. Seu mecanismo de ação é semelhante ao do hidróxido de cálcio, pois o mesmo contém óxido de cálcio, que, quando misturado com água, forma o Ca(OH)₂. Este é dissociado em íons Ca⁺ e OH⁻, os quais estão envolvidos nos processos de alcalinidade, calcificação, mineralização e reparo proporcionados pelo material⁵⁻¹⁰.

Entretanto, mudanças em sua composição/formulação têm sido propostas visando superar algumas de suas características físico-químicas não desejáveis¹¹, as quais incluem: consistência arenosa (dificulta o manuseio do material e sua aplicação)¹², baixo escoamento, alta porosidade, longo tempo de presa e coloração (pode gerar escurecimento coronário e gengival)¹³, sem, contudo, interferir nas suas características biológicas, além de sua biocompatibilidade e bioatividade^{10,14-16}.

Nesse sentido, no início de 2016, o MTA Repair HP (Angelus Indústria de Produtos Odontológicos S.A., Londrina, Paraná, Brasil) foi lançado sob a forma de um material biocerâmico reparador de alta plasticidade, com as mesmas propriedades biológicas que o MTA convencional, porém oferecendo manuseio e inserção mais fáceis, devido à mudança no tamanho das partículas do pó do MTA e à adição de um plastificante ao líquido*.

Desta maneira, o presente trabalho teve por objetivo analisar a composição química dos cimentos MTA Angelus® branco e cinza, e do cimento MTA HP Repair através da microscopia eletrônica de varredura acoplada à espectrometria de energia dispersiva (MEV/EDS), a fim de aferir a similaridade de seus componentes e correlacioná-los às propriedades físico-químicas e biológicas desses materiais.

MATERIAL E MÉTODO

Para a avaliação da composição química dos cimentos MTA Ângelus branco (Figura 1a) e cinza (Figura 1b), e MTA HP Repair (Figura 1c) (Ângelus Indústria de Produtos Odontológicos S.A., Londrina, Paraná, Brasil), foi utilizada a análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada ao Espectrômetro de Energia Dispersiva (EDS - Energy Dispersive System) no Instituto

*Angelus Ciência e Tecnologia. Produtos: Endodontia - Cimento Reparador - MTA HP Repair [citado 2019 julho]. Disponível em: <http://www.angelus.ind.br/>.

de Geociências da Unicamp, para os dois primeiros, e no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para o MTA HP Repair.

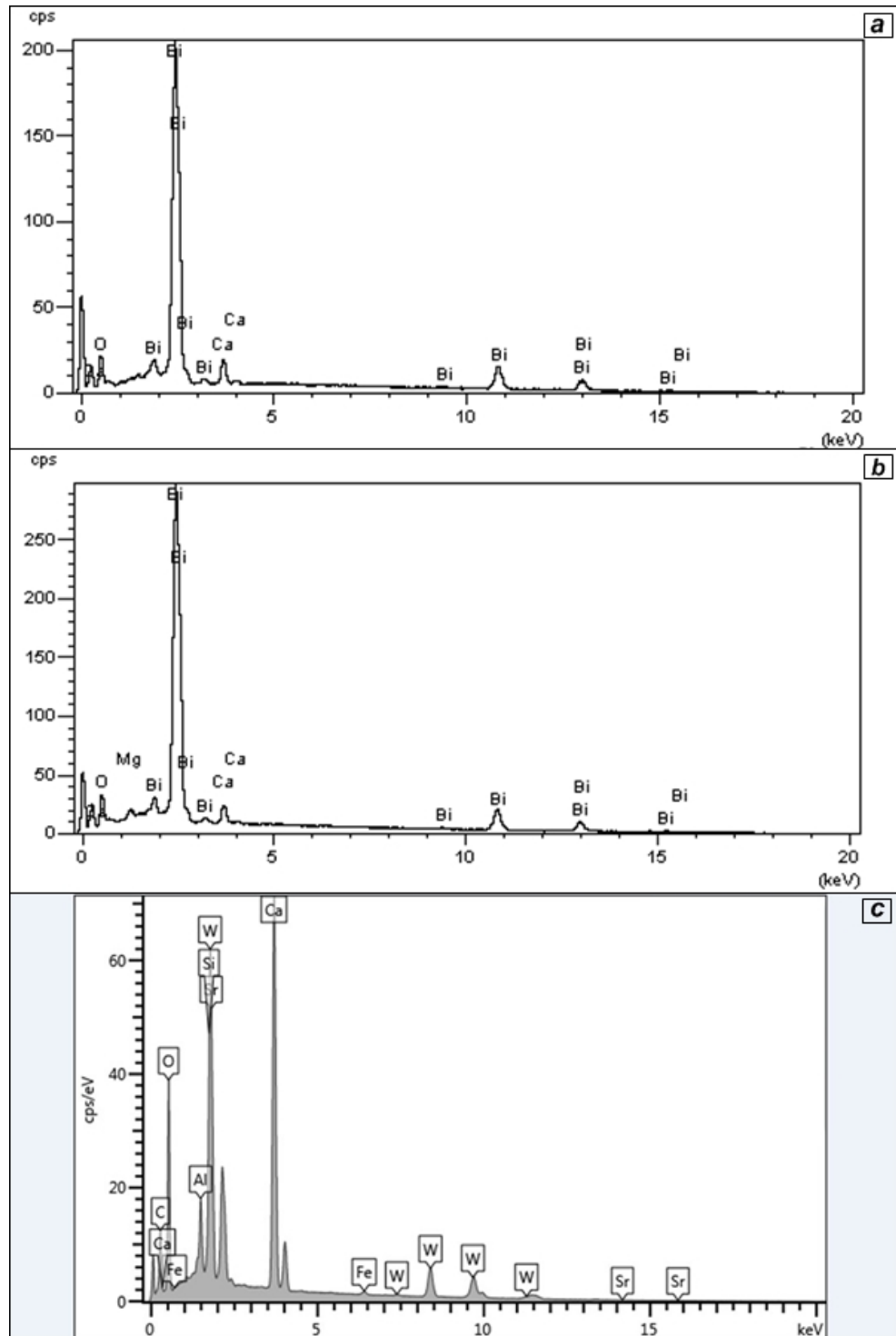


Figura 1 - Espectros para um ponto de cada amostra. **a)** Ponto 1 da imagem 2 do MTA Branco (UNICAMP); **b)** Ponto 1 da imagem 2 do MTA Cinza (UNICAMP); **c)** Ponto 2 da imagem 1 do MTA HP Repair (INPE).

Para adequada leitura das amostras, realizou-se a metalização, processo que torna condutora a superfície dos espécimes a serem analisados. Para isso, foram fixados cinco corpos de prova de cada tipo de cimento estudado, com 4 mm de diâmetro e 1 mm de altura, em Stubs, utilizando fita

condutora de carbono dupla face, os quais, por sua vez, foram encaixados em uma placa de platina do MEV. Esse conjunto foi levado à câmara do metalizador Emitech K450 por 1 min e 30 s sob corrente de 50 mA. Nesta etapa, uma fina camada de elemento condutor – neste caso, o carbono – foi depositada na superfície para que os elétrons pudessem ser conduzidos quando da análise das amostras no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

Em seguida, as amostras foram levadas ao Microscópio Eletrônico de Varredura LEO 430i (EUA), que possuía acoplado um espectrômetro de energia dispersiva (EDS) (Oxford Instruments, Inglaterra), para análises semiquantitativas. A energia do feixe foi mantida em 20 kV e a corrente do feixe atingiu as amostras com valores de 6000 pA, conforme necessidade de ajuste do brilho/contraste e da qualidade (contagens) das análises EDS.

A Tabela 1 ilustra a quantidade de imagens obtidas através do MEV, as quais foram utilizadas para o teste EDS, o número de pontos analisados para cada material e o total de pontos analisados no estudo.

Tabela 1. Quantidade de amostras utilizadas no teste EDS, número de pontos analisados em cada amostra, total de pontos analisados para cada material e total de pontos utilizados no estudo

	Quantidade de amostras analisadas para cada material	Número de pontos analisados para cada amostra	Total de pontos analisados para cada material	Total de pontos utilizados no estudo
MTA Branco	5	6	30	29
MTA Cinza	5	6	30	30
MTA HP Repair	5	6	30	29

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os pontos analisados foram escolhidos aleatoriamente na área de cada amostra, de forma a abranger diferentes regiões, para que se conseguisse uma boa visualização dos elementos químicos presentes em cada uma dessas amostras.

As concentrações dos elementos químicos obtidos neste estudo foram submetidas à análise estatística. Os dados foram distribuídos em tabelas e foi aplicado o teste Kolmogorov-Smirnov para avaliar a normalidade dos dados, ou seja, se possuem distribuição normal (médias > 5%) ou assimétrica (médias < 5%). Para os elementos químicos que apresentaram distribuição normal, foi aplicado o teste ANOVA. Já os elementos químicos que apresentaram distribuição assimétrica foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis.

Para comparação das diferenças das médias ou medianas das concentrações dos elementos químicos comuns a cada material, foi utilizado o teste de Tukey.

Desta maneira, comparou-se a média/medianas das concentrações dos elementos químicos dos diferentes cimentos pesquisados dois a dois, tomando como referência o material que apresentou média/mediana mais alta para determinado elemento químico.

RESULTADO

O Oxigênio (O), o Magnésio (Mg), o Silício (Si), o Cálcio (Ca) e o Alumínio (Al) foram identificados em todos os três cimentos analisados, sendo os elementos Oxigênio (O) e Cálcio (Ca) encontrados com médias de concentrações elevadas, equivalentes a 26,9% e 27,8%, respectivamente. Já o Magnésio (Mg) e o Silício (Si) apresentaram-se em baixo percentual nesses três materiais. Não houve diferenças estatísticas significativas para Oxigênio (O), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Silício (Si), entre os materiais analisados. Por outro lado, na análise do

Alumínio (Al), o cimento que exibiu menor média de concentração (MTA C) apresentou diferença estatística com o de maior média de concentração (MTA HP Repair). O MTA B, quando comparado com o de maior média de concentração, não mostrou diferença estatística significativa.

O Bismuto (Bi) foi encontrado apenas nos cimentos MTA Branco e MTA Cinza. Contudo, não houve diferença estatística para este elemento entre os materiais supracitados.

O Ferro (Fe) foi apresentado tanto no MTA Cinza quanto no MTA HP Repair. Porém, em médias de percentuais insignificantes, não apresentando diferenças estatísticas entre os materiais estudados.

O Sódio (Na) foi encontrado somente no cimento MTA Branco. Apenas o MTA Cinza apresentou o Enxofre (S) e o Potássio (K) em sua composição. Apenas o MTA HP Repair apresentou o Estrôncio (Sr), o Rubídio (Rb), o Tungstênio (W) e o Carbono (C) em sua composição química, sendo o Carbono (C) encontrado com média de concentração de 9,35% e o Tungstênio (W), com média de concentração de 18,46%.

O Quadro 1 mostra os elementos químicos presentes em cada material, a partir dos resultados obtidos.

Quadro 1. Elementos químicos presentes em cada material de estudo

		Elementos Químicos													
Materiais de Estudo	#	O	Na	Al	Mg	Si	S	K	Ca	Fe	Sr	Bi	C	Rb	W
	MTA Branco	X	X	X	X	X		X				X			
	MTA Cinza	X		X	X	X	X	X	X	X		X			
	MTA HP Repair	X		X	X	X			X	X	X		X	X	X

As imagens coletadas pelo MEV mostram, para os espécimes de MTA Angelus branco e cinza, coloração heterogênea e com partículas brancas cercadas por uma imagem acinzentada. Já os espécimes de MTA HP Repair mostraram-se com coloração homogênea acinzentada, conforme as Figura 2a-f.

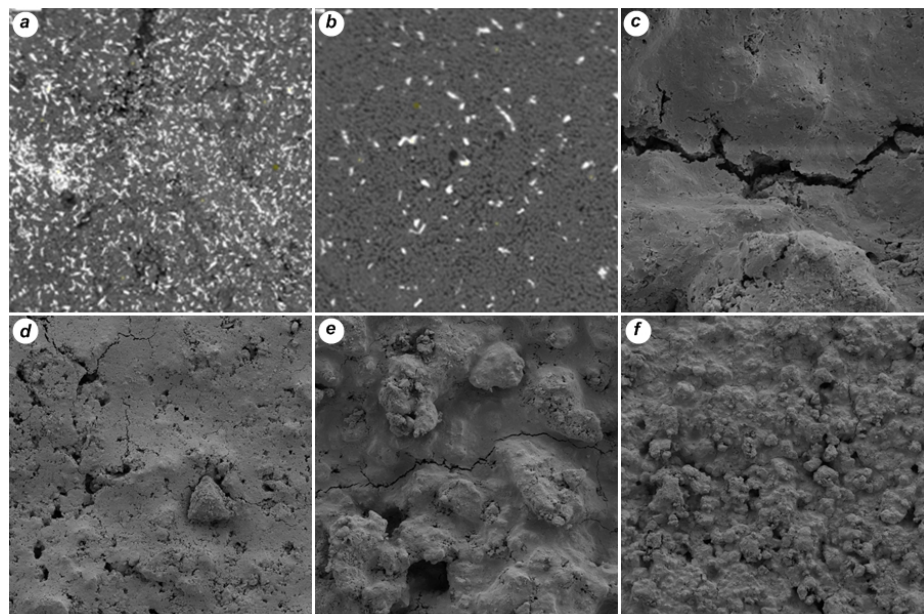


Figura 2. Imagens do Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV. a) MTA Branco em MEV (UNICAMP); b) MTA Cinza em MEV (UNICAMP); c) MTA HP Repair em MEV 1000X (INPE); d) MTA HP Repair em MEV 2000X (INPE); e) MTA HP Repair em MEV 2000X (INPE); f) MTA HP Repair em MEV 500X (INPE).

DISCUSSÃO

A empresa brasileira Angelus Indústria de Produtos Odontológicos S.A., com sede no Paraná, iniciou a comercialização do MTA nacional (MTA Angelus®) em 2001 na cor cinza e, em 2004, na cor branca, sendo que, nas formulações do MTA nacional, o gesso foi retirado de sua composição a fim de reduzir seu tempo de presa².

Segundo informações do fabricante, MTA Angelus cinza e branco são compostos por SiO₂, K₂O, Al₂O₃, Na₂O, Fe₂O₃, SO₃, CaO, Bi₂O₃, MgO, resíduos de sílica cristalina, sulfatos de potássio e sódio[†].

De acordo com Camilleri et al.⁷, o MTA branco possui em sua composição os elementos cálcio, silício, bismuto e oxigênio, enquanto o MTA cinza apresenta cálcio, ferro, silício, alumínio, bismuto e oxigênio, sendo o cálcio e o silício componentes predominantes. No presente trabalho, foi possível observar a presença de oxigênio, sódio, manganês, alumínio, silício, cálcio e bismuto para o MTA branco, e oxigênio, manganês, alumínio, silício, cálcio, potássio, bismuto, ferro e enxofre para o MTA cinza, concordando com os autores supracitados.

Além disso, ao se compararem os cimentos MTA branco, MTA cinza e MTA HP Repair, foi possível verificar a existência dos elementos oxigênio, alumínio, magnésio, silício e cálcio em todas as formulações analisadas, sendo que o oxigênio e o cálcio estiveram em concentrações elevadas, acima de 27% em todos os três produtos avaliados, o que corrobora com os achados de Asgary et al.⁶, Camilleri et al.⁷ e Song et al.⁸. Esses dois elementos são fundamentais para o mecanismo de ação do MTA, sendo necessário que ocorra a formação de óxido de cálcio e posteriormente de hidróxido de cálcio, o que permite que esses materiais exerçam suas propriedades físico-químicas e biológicas de bioatividade e biocompatibilidade nos tecidos ósseos, dentais e periodontais, favorecendo a calcificação e induzindo a remineralização^{3-5,10}. O hidróxido de cálcio atua ainda no processo de diferenciação celular e na formação da ponte da dentina, além de ser responsável pela atividade antimicrobiana dos materiais à base de silicato tricálcio¹⁷⁻²¹.

De acordo com esta pesquisa, o elemento químico ferro (Fe) foi identificado nos cimentos MTA cinza e MTA HP Repair, sendo suprimido no MTA branco. Em estudos prévios, acreditava-se que tal elemento provocava o escurecimento da estrutura coronária e gengival, o que ocasionou sua remoção da formulação de MTA Angelus branco, em 2004. Entretanto, quando da aplicação clínica deste novo material, verificou-se que o problema continuava. Trabalhos recentes, como de Bortoluzzi et al.²², relataram que o escurecimento se dava, possivelmente, em decorrência do radiopacificador utilizado nas formulações dos MTA cinza e branco, que possuíam o óxido de bismuto (Bi₂O₃) em suas composições. A presença do Bismuto (Bi) nas duas primeiras formulações do MTA Angelus estudadas neste trabalho está em concordância com os verificados por Song et al.⁸. Logo, ao analisar o MTA HP Repair, notou-se a ausência do elemento Bismuto (Bi), uma vez que foi necessária a substituição do radiopacificador na formulação atual para o Tungstato de Cálcio (CaWO₄), de forma que a consequência clínica de escurecimento coronário e gengival fosse cessada.

Dessa forma, ao verificar que o elemento ferro (Fe) não estava relacionado ao escurecimento da estrutura coronária e periodontal segundo pesquisas realizadas anteriormente, foi possível identificar a presença deste elemento no MTA HP Repair. Com a substituição dos radiopacificadores, ao se analisar o MTA HP Repair, alguns elementos como carbono (C), rubídio (Rb) e Tungstênio (W) foram identificados apenas nesse último. Estas verificações estão de acordo com os resultados obtidos por Tomás-Catalá et al.²³, os quais também identificaram os referidos elementos.

[†]Angelus Ciência e Tecnologia. Produtos: Endodontia - Cimento Reparador - MTA HP Repair [citado 2019 julho]. Disponível em: <http://www.angelus.ind.br/>

Neste estudo, foi identificado o potássio (K) no cimento MTA cinza, contudo, tal achado não foi ratificado através dos resultados verificados por Song et al.⁸.

Nesta pesquisa, o elemento alumínio (Al) foi encontrado em todas as formulações de MTA estudadas. Esses achados concordam com os informados por Tomás-Catalá et al.²³, os quais identificaram esse elemento nas formulações do MTA HP Repair. A presença desse íon nas composições indica o emprego do CP para a obtenção dos referidos materiais²¹. Segundo Lee et al.¹⁹, a presença de íons diferentes, como o Zn, em materiais dentários está relacionada com a cito-toxicidade das formulações. Desta forma, para Tomás-Catalá et al.²³, a existência de Sr, Al e S na formulação do MTA HP Repair poderá determinar algum grau de cito-toxicidade apresentado por esse material. Neste estudo, entretanto, não foi observada a existência dos elementos zinco (Zn) e enxofre (S) na nova formulação do MTA Angelus. Logo, tais achados não corroboraram com a pesquisa feita por Tomás-Catalá et al.²³, exceto pela presença dos elementos estrôncio (Sr) e alumínio (Al).

Chang et al.²⁴, através de estudo de espectrometria, mostraram que o MTA cinza contém alta concentração de ferro enquanto o MTA branco teve a menor quantidade de quatro metais: cádmio, cromo, ferro e zinco. Comparando esses achados com os obtidos no presente trabalho, foi constatado que, em nenhuma das formulações analisadas, foi detectada a presença dos elementos cádmio (Cd), cromo (Cr) e zinco (Zn). Além disso, não foi observada a presença de ferro (Fe) no MTA branco, na atual pesquisa. Portanto, tais resultados não foram compatíveis com os resultados observados pelos referidos autores.

Schembri-Wismayer, Camilleri¹⁴ relataram que o cromo (Cr) foi identificado em valores altos nas formulações de MTA Angelus cinza e branco, discordando dos resultados que foram verificados neste estudo, no qual o elemento cromo (Cr) não foi observado em nenhum dos materiais analisados.

Para a nova formulação do MTA Angelus, nesta pesquisa, através da Espectrometria de Energia Dispersiva (EDS), foram encontrados: oxigênio (O), alumínio (Al), magnésio (Mg), silício (Si), cálcio (Ca), ferro (Fe), carbono (C), rubídio (Rb), tungstênio (W) e estrôncio (Sr). Ao comparar tais achados com os resultados obtidos por Tomás-Catalá et al.^{23,25}, observou-se que a existência dos elementos O, Al, Si, Ca e C esteve em concordância com os elementos verificados no presente estudo. Porém, os elementos Fe, Sr, Mg, Rb e W verificados na presente pesquisa não estiveram presentes na avaliação feita pelos autores supracitados. Além disso, foi possível verificar que as concentrações dos elementos carbono (C) e silício (Si) encontrados por Tomás-Catalá et al.^{23,25} foram relativamente inferiores ao serem comparadas com as concentrações observadas na presente pesquisa, sendo que não houve diferença discrepante em relação ao elemento silício (Si). Porém, ao analisar os elementos oxigênio (O), alumínio (Al) e cálcio (Ca), foi visto que as concentrações de tais elementos foram superiores nos resultados obtidos por Tomás-Catalá et al.²³, ao se confrontarem com os resultados do presente estudo. De acordo com imagens obtidas pela Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), o MTA HP Repair se apresentou com coloração homogênea nas duas pesquisas executadas. Logo, as avaliações desta pesquisa em MEV corroboraram com as avaliações realizadas pelos autores anteriormente citados.

Estudos prévios realizados por Zhou et al.¹⁵ e Zhu et al.¹⁶ relatam que a presença dos elementos silício (Si) e estrôncio (Sr) nas formulações está relacionada com o comportamento biológico dos osteoblastos e ligamento periodontal, mecanismo fundamental para o processo de reparação tecidual.

O Agregado Trióxido Mineral (MTA) é um cimento hidráulico, logo pode ser empregado na presença de umidade. Nessa situação, a umidade presente nos tecidos age como um ativador da reação química deste material. Acredita-se que a habilidade seladora do MTA possivelmente está relacionada à sua natureza hidrofílica e à ligeira expansão, quando ele é manipulado em ambiente úmido. A reação de presa do cimento se baseia nas reações dos compostos anidros do material com a água^{3,4,26}.

Nas formulações do MTA cinza e do MTA branco, a água deve ser incorporada ao pó, com o intuito de formar um gel coloidal^{3,4}. Ao MTA HP Repair, foi adicionado um polímero plastificante à composição química do líquido reagente, de forma a melhorar sua consistência e propriedades físico-químicas, facilitando sua manipulação e seu emprego nas áreas indicadas. Além disso, o agente plastificante é responsável por conferir um menor tempo de presa ao material, possibilitando sua utilização em capeamentos pulpares e retrobturações¹⁷.

O MTA HP Repair foi lançado no mercado nacional pela Angelus – Soluções Odontológicas em 2016, sendo necessário, portanto, que mais estudos *in vitro* e *in vivo* sejam realizados a fim de fornecer mais informações quanto às propriedades físico-químicas e biológicas desse novo material endodôntico, tendo por objetivo comprovar ou não a sua supremacia e eficácia em relação às demais formulações já existentes no mercado, para que esse produto possa realmente substituir de forma segura as formulações que já foram extensamente estudadas, dentre essas, o Pro-Root MTA e os MTA Angelus cinza e branco.

CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia empregada e os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- 14 elementos químicos foram identificados nas amostras analisadas: O, Na, Al, Mg, Si, S, K, Ca, Fe, Sr, Bi, C, Rb e W;
- Cinco elementos foram encontrados em todos os cimentos estudados: O, Al, Mg, Si e Ca;
- O elemento ferro foi verificado nos cimentos MTA cinza e HP Repair;
- O Bismuto foi encontrado nos cimentos MTA branco e cinza;
- Apenas na nova formulação do MTA da Angelus, o HP Repair, foram encontrados os elementos Rb, W e C;
- O e C foram os elementos químicos que se apresentaram em maior quantidade nas amostras analisadas.

REFERÊNCIAS

1. Leonardo MR, Leonardo RT. Endodontia: conceitos biológicos e recursos tecnológicos. São Paulo: Editora Artes Médicas; 2009.
2. Cardoso RJA, Machado MEL. Odontologia arte e conhecimento. São Paulo: Editora Artes Médicas; 2003.
3. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review-part I: chemical, physical, and antibacterial properties. J Endod. 2010 Jan;36(1):16-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.006>. PMID:20003930.
4. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--part III: clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. J Endod. 2010 Mar;36(3):400-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.009>. PMID:20171353.
5. Estrela C, Bammann LL, Estrela CR, Silva RS, Pécora JD. Antimicrobial and chemical study of MTA, Portland cement, calcium hydroxide paste, Sealapex and Dycal. Braz Dent J. 2000;11(1):3-9. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6440201302356>. PMID:11210272.
6. Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, Brink F. Chemical differences between white and gray mineral trioxide aggregate. J Endod. 2005 Feb;31(2):101-3. <http://dx.doi.org/10.1097/01.DON.0000133156.85164.B2>. PMID:15671818.

7. Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dent Mater*. 2005 Apr;21(4):297-303. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2004.05.010>. PMID:15766576.
8. Song JS, Mante FK, Romanow WJ, Kim S. Chemical analysis of powder and set forms of Portland cement, gray ProRoot MTA, white ProRoot MTA, and gray MTA-Angelus. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2006 Dec;102(6):809-15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tripleo.2005.11.034>. PMID:17138186.
9. Torabinejad M, Parirokh M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--part II: leakage and biocompatibility investigations. *J Endod*. 2010 Feb;36(2):190-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.010>. PMID:20113774.
10. Yamamoto S, Han L, Noiri Y, Okiji T. Evaluation of the Ca ion release, pH and surface apatite formation of a prototype tricalcium silicate cement. *Int Endod J*. 2017 Dec;50(Suppl 2):e73-82. <http://dx.doi.org/10.1111/iej.12737>. PMID:27977862.
11. Bortoluzzi EA, Broon NJ, Bramante CM, Consolaro A, Garcia RB, Moraes IG, et al. Mineral Trioxide Aggregate with or without calcium chloride in pulpotomy. *J Endod*. 2008 Feb;34(2):172-5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2007.09.015>. PMID:18215675.
12. Ber BS, Hatton JF, Stewart GP. Chemical modification of proroot mta to improve handling characteristics and decrease setting time. *J Endod*. 2007 Oct;33(10):1231-4. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2007.06.012>. PMID:17889696.
13. Bortoluzzi EA, Araújo GS, Guerreiro Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M. Marginal gingiva discoloration by gray MTA: a case report. *J Endod*. 2007 Mar;33(3):325-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2006.09.012>. PMID:17320726.
14. Schembri-Wismayer P, Camilleri J. Why Biphasic? Assessment of the effect on cell proliferation and expression. *J Endod*. 2017 May;43(5):751-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2016.12.022>. PMID:28292596.
15. Zhou Y, Wu C, Xiao Y. The stimulation of proliferation and differentiation of periodontal ligament cells by the ionic products from Ca7Si2P2O16 bioceramics. *Acta Biomater*. 2012 Jul;8(6):2307-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2012.03.012>. PMID:22409874.
16. Zhu L, Yang J, Zhang J, Peng B. A comparative study of BioAggregate and ProRoot MTA on adhesion, migration, and attachment of human dental pulp cells. *J Endod*. 2014 Aug;40(8):1118-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2013.12.028>. PMID:25069918.
17. Figueiredo JAP, Botteselle BV, Ritter DD, Cogo DM, Parlow IF, Mileski JS, et al. Avaliação da radiopacidade do cimento Portland comparado ao cimento MTA. *ROBRAC*. 2008;17(43):39-45.
18. Kim EC, Lee BC, Chang HS, Lee W, Hong CU, Min KS. Evaluation of the radiopacity and cytotoxicity of Portland cements containing bismuth oxide. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008 Jan;105(1):e54-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tripleo.2007.08.001>. PMID:18155604.
19. Lee BN, Lee BG, Chang HS, Hwang YC, Hwang IN, Oh WM. Effects of a novel light-curable material on odontoblastic differentiation of human dental pulp cells. *Int Endod J*. 2017 May;50(5):464-71. <http://dx.doi.org/10.1111/iej.12642>. PMID:27015645.
20. Kim J, Song YS, Min KS, Kim SH, Koh JT, Lee BN, et al. Evaluation of reparative dentin formation of ProRoot MTA, Biodentine and BioAggregate using micro-CT and immunohistochemistry. *Restor Dent Endod*. 2016 Feb;41(1):29-36. <http://dx.doi.org/10.5395/rde.2016.41.1.29>. PMID:26877988.
21. Arias-Moliz MT, Farrugia C, Lung CYK, Wismayer PS, Camilleri J. Antimicrobial and biological activity of leachate from light curable pulp capping materials. *J Dent*. 2017 Sep;64:45-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2017.06.006>. PMID:28645637.
22. Bortoluzzi EA, Niu LN, Palani CD, El-Awady AR, Hammond BD, Pei DD, et al. Cytotoxicity and osteogenic potential of silicate calcium cements as potential protective materials for pulpal revascularization.

Dent Mater. 2015 Dec;31(12):1510-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2015.09.020>.
PMid:26494267.

23. Tomás-Catalá CJ, Collado-González M, García-Bernal D, Oñate-Sánchez RE, Forner L, Llena C, et al. Biocompatibility of new pulp-capping materials NeoMTA Plus, MTA Repair HP, and Biodentine on human dental pulp stem cells. *J Endod.* 2018 Jan;44(1):126-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2017.07.017>. PMid:29079052.
24. Chang SW, Shon WJ, Lee W, Kum KY, Baek SH, Bae KS. Analysis of heavy metal contents in gray and white MTA and 2 kinds of Portland cement: a preliminary study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010 Apr;109(4):642-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.12.017>. PMid:20303061.
25. Tomás-Catalá CJ, Collado-González M, García-Bernal D, Oñate-Sánchez RE, Forner L, Llena C, et al. Comparative analysis of the biological effects of the endodontic bioactive cements MTA-Angelus, MTA Repair HP and NeoMTA Plus on human dental pulp stem cells. *Int Endod J.* 2017 Dec;50(Suppl 2):e63-72. <http://dx.doi.org/10.1111/iej.12859>. PMid:28891221.
26. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod.* 1995 Jul;21(7):349-53. [http://dx.doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80967-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80967-2). PMid:7499973.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

***AUTOR PARA CORRESPONDÊNCIA**

Marcelo Santos Bahia, Rua Barbosa Lima, 198, Edifício Áurea, Apartamento 302, Bairro Centro, 36010-050 Juiz de Fora - MG, Brasil, e-mail: marcelosbahia@outlook.com

Recebido: Setembro 29, 2019

Aprovado: Outubro 17, 2019