

Filipe Miguel Correia de Castro

Características Químicas e Físicas de alguns MTA's
Revisão Bibliográfica

Universidade Fernando Pessoa
Faculdade de Ciências da Saúde

Porto, 2014

Filipe Miguel Correia de Castro

Características Químicas e Físicas de alguns MTA's
Revisão Bibliográfica

Universidade Fernando Pessoa
Faculdade de Ciências da Saúde

Porto, 2014

Filipe Miguel Correia de Castro

Características Químicas e Físicas de alguns MTA's
Revisão Bibliográfica

Dissertação apresentada à
Universidade Fernando Pessoa
como parte integrante dos requisitos para
obtenção do grau de mestre em Medicina Dentária.

Filipe Castro

Sumário

Introdução: O MTA foi preconizado com o intuito de substituir os materiais obturadores que não reuniam as características ideais para tratamentos dentários, tais como retro-obturações e reparação de perfurações radiculares.

Objectivo: Pretende-se com este trabalho analisar e sintetizar a evidência científica existente sobre o MTA disponível no mercado que reúna o máximo de características químicas e físicas para a prática clínica em Medicina Dentária.

Materiais e Métodos: Foi efetuada uma revisão bibliográfica, entre os meses de Maio e Junho de 2014, nas bases de dados on-line, *Pubmed* e *Scopus*, utilizando a VPN da FMDUP e da UFP. Recorreu-se também ao repositório da biblioteca da Faculdade de Ciências da Saúde da UFP. As palavras-chave utilizadas foram "Mineral Trioxide Aggregate", "Chemical Properties" e "Physical Properties", correlacionadas com o operador booleano "AND", nos idiomas inglês, português e espanhol. Desta pesquisa seleccionaram-se 24 artigos que vieram a constituir o corpus documental para esta revisão.

Resultados: Os resultados foram centrados entre algumas características Químicas e Físicas dos MTA's analisados, nomeadamente Constituição Química, pH, Libertação de Iões Cálcio, Tempo de Presa, Força de Compressão, Solubilidade e Radiopacidade. Estes valores obtidos foram variando de cimento em cimento e de acordo com a metodologia adoptada para a sua obtenção.

Conclusão: A Composição Química do MTA e sua relação é extremamente importante para nós, Médicos Dentistas, com o intuito de perceber o seu comportamento no ato clínico a executar e ao longo do tempo. Os valores mais elevados de pH são do MTA Angelus[®] e White ProRoot[®] e o de menor valor é do MTAB[®]. O que apresenta maior libertação de iões cálcio é o MTA BIO[®] e o que apresenta menor valor é o MTAB[®]. Concluimos que o MTA BIO[®] apresenta o menor tempo de presa e o Fillapex[®] o maior tempo. O MTA que exhibe maior resistência às forças compressivas é o MTA ProRoot Grey[®] e o de menor capacidade é o MTA

Características Químicas e Físicas de alguns MTA's
Revisão Bibliográfica

Fillapex[®]. O que apresenta maior Solubilidade é o MTA Fillapex[®] e o que apresenta menor valor é o MTA ProRoot Grey[®]. verificamos que o MTA Fillapex[®] é o MTA mais radiopaco e o ProRoot Grey[®] o MTA que apresenta valor de radiopacidade inferior.

Abstract

Introduction: The MTA has been recommended in order to replace the filling materials that do not meet the characteristics for dental treatments, such as retro-fillings and repair of root perforations.

Objective: The aim of this research was review and synthesize the existing scientific evidence on the MTA available on the market that meets the maximum chemical and physical characteristics for clinical practice in dentistry.

Materials and Methods: A literature review was performed, between the months of May and June 2014, in online databases, such as Pubmed and Scopus, using the FMDUP and UFP's VPN. This was also performed with the use of the library repository of the Faculty of Health Sciences UFP. The keywords used were "Mineral Trioxide Aggregate", "Chemical Properties" and "Physical Properties", correlated with the boolean operator "AND", in English, Portuguese and Spanish languages. In the research were selected 24 articles that composed the corpus documental of this review.

Results: The results were centered between some physical and chemical features of the MTA's analyzed: chemical Constitution, pH, calcium ion release, setting time, compressive strength, solubility and radiopacity. These values were obtained ranging from cement and according to the methodology used.

Conclusion: The Chemical Composition of the MTA and their relationship is extremely important for dentists in order to understand their behavior in the clinical act and perform over time. The higher pH values are assigned to Angelus MTA ® and White ProRoot ® and the lowest value to MTAB ®. The one with greater release of calcium ions is the MTA BIO ® and the one with smallest value is MTAB ®. We conclude that the faster setting time is presented by MTA BIO ® and the longer by MTA Fillapex ®. The MTA has greater resistance to compressive forces is the MTA ProRoot Grey ® and the less responsive is the MTA Fillapex ®. The one that presents greater solubility is MTA Fillapex ® and the lower solubility is in MTA ProRoot

Características Químicas e Físicas de alguns MTA's
Revisão Bibliográfica

Grey ®. MTA Fillapex ® is the most radiopaque and ProRoot Grey MTA ® has the lowest value of radiopacity.

Epígrafe

"Nós somos o que fazemos repetidamente.
A excelência então, não é um modo de agir, mas um hábito."
(Aristóteles)

Agradecimentos

Aos meus pais, Luís Castro e Deolinda Correia, pelo apoio, carinho, paciência e esforço que sempre me deram de forma incondicional. Obrigado por acreditarem sempre e me apoiarem, mesmo nos momentos mais difíceis .

À minha avó, Laurinda Ferreira por ser um pilar importante na minha educação e um exemplo na minha formação pessoal.

À minha namorada, Sofia Baptista pela tua amizade, apoio, dedicação que tem demonstrado, e mais do que isso, obrigado pela tua coragem.

Ao Rui Baptista e Anabela Baptista pelo apoio incansável.

À Alexandra e Raquel Oliveira pelo apoio, voto de confiança e amizade.

Ao meu binómio, Pedro Pereira por ser um grande companheiro nesta minha luta de 5 anos.

Ao Professor Miguel Matos por toda a paciência, dedicação e apoio que demonstrou para comigo enquanto seu orientando.

Um muito obrigado a todos os meus amigos, que estiveram sempre presentes, nos bons e nos maus momentos. Sem vocês não seria o mesmo.

Obrigado a todos!

Índice Geral	Páginas
Índice de Figuras	VIII
Índice de Tabelas	IX
Índice de Gráficos	XIII
Índice de Abreviaturas	XIV
I-Introdução	1
II-Materiais e Métodos	11
III-Desenvolvimento	13
1-Resultados	13
1.1 Cimento de Portland	13
1.2 Grey ProRoot MTA [®]	17
1.3 White ProRoot MTA [®]	21
1.4 MTA Angelus [®]	27
1.5 MTAB [®] Angelus	31
1.6 MTA Fillapex [®]	36
1.7 MTA PLUS [®]	39
1.8 MTA BIO [®]	44
2-Discussão	47
IV-Conclusão	56
Referências Bibliográficas	59

Índice de Figuras

Figura 1 - ProRoot® MTA.

Figura 2 - ProRoot® WMTA.

Figura 3 - MTA-Angelus®.

Figura 4 – MTAB-Angelus®

Figura 5 - MTA Fillapex®.

Figura 6 - MTA PLUS™.

Figura 7 - Fluxograma- Metodologia de Pesquisa.

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Processo de seleção dos artigos.

Tabela 2 - Constituintes do Cimento Portland (wt%).

Tabela 3 - Percentagem das fases cristalinas do CP (wt%).

Tabela 4 - Tempo de presa do Cimento de Portland.

Tabela 5 - Força de compressão do CP (MPa).

Tabela 6 - Força de Compressão do CP (MPa).

Tabela 7 - Constituição Química do Grey ProRoot MTA[®] (wt%).

Tabela 8 - Fases Cristalinas do Grey ProRoot MTA[®].

Tabela 9 - pH do Grey ProRoot MTA[®] (%).

Tabela 10 - Libertação de Iões Cálcio (mg/dL) do Grey ProRoot MTA[®].

Tabela 11 - Libertação Iões Cálcio (mg/L) segundo Çinar et al. (2013).

Tabela 12 - Tempo de Presa do Grey ProRoot MTA[®] segundo Cutajar et al. (2011).

Tabela 13 - Tempo de Presa do Grey ProRoot MTA[®].

Tabela 14 - Força de Compressão do Grey ProRoot MTA[®].

Tabela 15 - Constituição Química do White ProRoot MTA[®].

Tabela 16 - Fases Cristalinas do White ProRoot MTA[®].

Tabela 17 - pH do White ProRoot MTA[®] segundo Cutajar et al. (2011).

Tabela 18 - pH do White ProRoot MTA[®] Segundo Gandolfi & Taddei (2013).

Tabela 19 - Liberação Iões Cálcio do White ProRoot MTA[®].

Tabela 20 - Liberação Iões Cálcio segundo Gandolfi & Taddei (2013).

Tabela 21 - Tempo de Presa.

Tabela 22 - Força de Compressão White ProRoot MTA[®] Segundo Hwang et al. (2011).

Tabela 23 - Força de Compressão.

Tabela 24 - Constituição Química MTA Angelus[®].

Tabela 25 - Fases Cristalinas do MTA Angelus[®].

Tabela 26 - pH do MTA Angelus[®].

Tabela 27 - pH MTA Angelus[®] (%) segundo Santos & Moraes (2005).

Tabela 28 - pH do MTA Angelus[®] segundo Vasconcelos et al. (2009).

Tabela 29 - Liberação Cálcio segundo Gandolgi & Taddei (2013).

Tabela 30 - Liberação Iões Cálcio segundo Santos & Moraes (2005)

Tabela 31 - Liberação Iões Cálcio segundo Vasconcelos et al. (2009).

Tabela 32 - Tempo de Presa MTA Angelus[®].

Tabela 33 - Constituição Química MTAB[®] desidratado.

Tabela 34 - Constituição Química MTAB[®] hidratado.

Tabela 35 - pH do MTAB[®] segundo Antunes Bortoluzzi et al. (2006).

Tabela 36 - pH do MTAB[®].

Tabela 37 - Liberação de Iões Cálcio no MTAB[®].

Tabela 38 - Liberação de Iões Cálcio no MTAB[®] segundo Antunes Bortoluzzi et al. (2006).

Tabela 39 - Tempo de Presa do MTAB[®] (min).

Tabela 40 - Força de Compressão (MPa) do MTAB[®].

Tabela 41 - Constituição Química do MTA Fillapex[®].

Tabela 42 - pH do MTA Fillapex[®].

Tabela 43 - Liberação de Iões Cálcio do MTA Fillapex[®].

Tabela 44 - Tempo de Presa do MTA Fillapex[®].

Tabela 45 - Força de Compressão do MTA Fillapex[®].

Tabela 46 - Solubilidade do MTA Fillapex[®].

Tabela 47 - pH do MTA PLUS[®].

Tabela 48 - Liberação Iões Cálcio.

Tabela 49 - pH do MTA BIO[®].

Tabela 50 - Liberação de Iões Cálcio do MTA BIO[®].

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - pH do Cimento de Portland.

Gráfico 2 - Liberação iões cálcio (mg/dL).

Gráfico 3 - pH do White ProRoot MTA[®].

Gráfico 4 - Concentração de Liberação Iões Cálcio (mg/dL).

Gráfico 5 - Difractograma do MTAB[®] desidratado (1º momento).

Gráfico 6 - Difractograma MTAB[®] hidratado (2º momento).

Gráfico 7 - Constituição Química do MTA PLUS[®] Desidratado.

Gráfico 8 - Constituição Química do MTA PLUS[®] Hidratado.

Gráfico 9 - Constituição Química do MTA PLUS[®] Desidratado segundo Formosa, B. Mallia, et al. (2013).

Gráfico 10 - Segundo Formosa, B. Mallia, et al. (2013) a Constituição Química do MTA PLUS[®].

Gráfico 11 - Constituição Cristalina do MTA PLUS[®], (Formosa, B. Mallia, et al. 2013).

Gráfico 12 - pH obtido do MTA BIO[®].

Gráfico 13 - Liberação Iões Cálcio.

Índice de Abreviaturas

± - aproximadamente

ADA- *American Dental Association*

Al₂O₃- Óxido de Alumina

ASTM-*American Society of Testing Materials Specification*

Bi₂O₃-Óxido de Bismuto

Ca[OH]₂- Hidróxido de Cálcio

Ca₂SiO₄-Silicato Dicálcico

Ca₃SiO₅- Silicato Tricálcico

CaO- Óxido de Cálcio

CIV- Cimento Ionómero de Vidro

CO₂-Dióxido de Carbono

CP- Cimento de Portland

Fe₂O₃-Óxido Férrico

FeO- Óxido de Ferro

h-hora

H₂O⁺-Óxido de Hidrogénio

IRM- Cimento Óxido de Zinco Reforçado

ISO- *International Organization for Standardization*

K₂O- Óxido de Potássio

Ltda- Limitada

MeSH - *Medical Subject Headings*

mg/dL-miligrama por decilitro

MgO- Óxido de Magnésio

min- minutos

MnO- Óxido de Manganês

MPa- Mega Pascal

MTA- *Mineral Trioxide Aggregate*

MTAB[®]-MTA Branco Angelus[®]

Na₂O- Óxido de Sódio

p-probabilidade

P₂O₅-Pentóxido de Fósforo

pH-Potencial de Hidrogénio

ppm- parte por milhão

seg- segundos

SiO₂- Dióxido de Sílica

SO₃-Trióxido de Enxofre

TiO₂- Dióxido de Titânio

VPN - *Virtual Private Network*

wt%- Fração de Massa

I-Introdução

1-Introdução Alargada

A história da Endodontia teve início no século XVII e durante gerações o seu progresso foi travado pela inexistência de uma imagem clara que fosse capaz de nos mostrar o que se sucedia no interior do órgão dentário (A. Castellucci, 2009). Desta forma, esta ciência foi considerada por muitos como uma "disciplina cega", em que o tratamento dos canais radiculares era feito de uma forma demasiado imprecisa (J. Ingle, 1979).

A obliteração ou obturação radicular tem recebido também grande cobertura na literatura odontológica no último século. Começou pela introdução das bases de cones de Gutta Percha em 1867 por G.A. Bowman, como material base de obturação, tendo passado lentamente por uma gama de materiais obturadores, até aos modernos plásticos petroquímicos (J. Ingle, 1979).

Somente agora, parece que um método simplificado de obturação está mais próximo do nosso alcance. Podemos vislumbrar a possibilidade de encerramento do foramen apical por cimento, estimulado pelo emprego de materiais biologicamente ativos, como hidróxido de cálcio ou gel coloidal de colagénio, ou através do MTA (Mineral Trioxide Aggregate) (J. Ingle, 1979).

Ao longo dos tempos, a pesquisa de materiais dentários que apresentem uma combinação de boas propriedades mecânicas, químicas, físicas e biológicas tem sido incessante e no que diz respeito a tratamento de lesões apicais, esta ainda tem sido mais fugaz (Dammachke et al. 2005).

Inicialmente, materiais como o Cimento Hidróxido de Cálcio, Cimento Ionómero de Vidro (CIV), Cimento Óxido Zinco-Eugenol (IRM[®]), Cimento Óxido Zinco Eugenol reforçado (Super Eba[®]), Amálgama e Resinas Compostas eram utilizadas como opção

terapêutica de reparação ou tratamento de lesões radiculares e peri-apicais. Contudo, a toxicidade por parte do mercúrio do amálgama, a irritabilidade e inflamação provocada nas células do ligamento periodontal desencadeada pelo Super Eba[®] (Huang et al. 2005), a pequena ou quase nula ação regeneradora de tecidos duros por parte dos CIV's e IRM[®] levaram a que o MTA fosse escolhido como material de eleição para tratamentos de lesões radiculares e peri-apicais (Gandolfi & Taddei 2013).

Em 1990, uma equipa de investigação liderada pelo Professor Mahmoud Torabinejad, professor e diretor do Programa de Educação Avançada Especial em Endodontia na Universidade de Loma Linda, Escola de Dentisteria, nos Estados Unidos da América, desenvolveu um material de obturação canalar que reunia características ideais quer na obturação ortógrada como também na retrógrada (Gonçalves & Viapiana 2010); (Srinivasan 2009). Este material era composto essencialmente por Cimento de Portland (CP) tipo I (80%) e por Óxido de Bismuto (20%) (Josette Camilleri et al. 2013).

O CP tipo I é composto por 4 fases cristalinas distintas, após a sua hidratação com água destilada:

- Fase Alita, que é constituída essencialmente por Silicato Tricálcico, $((\text{CaO})_3\text{SiO}_2)$;
- Fase Belita, Silicato Dicálcico $((\text{CaO})_2\text{SiO}_2)$;
- Fase Alumina, $((\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3)$;
- Fase Ferrita, Ferroaluminato Tetracálcico $((\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3)$ e gesso, $(\text{CaSO}_4+\text{H}_2\text{O})$;

A fase Alita é a mais predominante após a hidratação (Belío-Reyes et al. 2009); (Antunes Bortoluzzi et al. 2006).

No MTA, após a hidratação e durante o tempo de presa, irá formar-se Hidróxido de Cálcio e um gel hidratado de Silício de Cálcio, que se irá depositar. Este gel coloidal

vai endurecer e apresentará na sua fase cristalina, cristais finos de Etringite e cristais cúbicos denominados Portlandite (Saghiri & Garcia - Godoy 2013).

A Etringite irá influenciar o tempo de presa (Saghiri & Garcia - Godoy 2013) e a Portlandite resultará como barreira à proliferação bacteriana (Comin-Chiaramonti & Cavalleri 2009).

O Hidróxido de Cálcio formado dissocia-se em iões Ca^{2+} e OH^- , o que irá alcalinizar o meio, assim como promover a mineralização, a deposição de tecido duro e estimular a migração e diferenciação celular (R. Vitti et al. 2013).

Desta forma, em 1990, o Professor Mahmoud Torabinejad conseguiu patentear o MTA, começando a ser comercializado com o nome de ProRoot MTA[®] (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK) (Gonçalves & Viapiana 2010).

O ProRoot MTA (figura 1) é composto principalmente por Silicato Tricálcico, Silicato Dicálcico, uma pequena porção de Aluminato Tricálcico, Sulfato de Cálcio e a adição de Óxido de Bismuto para lhe conferir radiopacidade (Camilleri 2010) .

Figura 1: ProRoot[®] MTA.



O Silicato Tricálcico é o principal responsável pelas propriedades biológicas deste material. Ao ser hidratado, este vai precipitar e formar Silicato de Cálcio e Hidróxido de Cálcio, sendo este último o responsável pela indução de formação de hidroxiapatite após entrar em contacto com os fluídos fisiológicos (Josette Camilleri et al. 2013).

Segundo Funteas (*cit. in* Comin-Chiaramonti & Cavalleri 2009) a grande diferença entre o MTA e o CP é a adição de Óxido de Bismuto (Bi_2O_3), cuja finalidade é conferir radiopacidade ao cimento. De acordo com Grossman (*cit. in* Camilleri 2010), afirmou que a radiopacidade é uma das características ideais dos materiais obturadores.

Após a comercialização do MTA, tradicionalmente cinzento, foi introduzido pela Dentsply o ProRoot MTA[®] (WMTA), de coloração branca (figura 2), que reduziu na sua constituição a percentagem de Ferroaluminato Tetracálcico, reduzindo assim a possibilidade de descoloração dentária caso seja aplicado em dentes anteriores (Antunes Bortoluzzi et al. 2006).

Figura 2: ProRoot[®] WMTA.



Segundo Asgary et al. (*cit. in* Srinivasan 2009), o MTA branco apresenta uma melhor concentração de íons de ferro, alumínio e magnésio face ao MTA cinzento.

Em 2001, a empresa brasileira Angelus lançou o MTA-Angelus[®] (Angelus, Londrina, PR, Brazil), de coloração cinzenta, cuja constituição é de 80% CP e 20% de Óxido de Bismuto (figura 3) (Antunes Bortoluzzi et al. 2006).

Figura 3: MTA-Angelus[®].



A este MTA, com o objectivo de acelerar a reação de presa, foi-lhe retirado o Sulfato de Cálcio. A marca Angelus[®], lançou para o mercado o segundo MTA de coloração branca (figura 4), denominado MTA-Branco[®] (MTAB) (Antunes Bortoluzzi et al. 2006).

Características Químicas e Físicas de alguns MTA's
Revisão Bibliográfica

Figura 3: MTAB-Angelus®.



Posteriormente, para promover um MTA com outras propriedades físicas e químicas, a empresa Angelus lançou para o mercado o MTA Fillapex® (figura 5). Este é composto por CP sintético e resina de salicilato, com o objetivo de melhorar o tempo de trabalho, o manuseamento e as propriedades biológicas (R. P. Vitti et al. 2013).

Figura 5: MTA Fillapex®.



Esta empresa criou também o MTA BIO[®], sintetizado com o objetivo de melhorar o tempo de presa e evitar a presença de arsênico na sua constituição (Vivan & Zapata 2010);(Srinivasan 2009).

Com a crescente evolução, uma empresa Indiana desenvolveu um MTA (MTA Plus[™] (Prevest Denpro, Jammu City, India)), com partículas mais finas face aos restantes MTA's. Este está preparado de modo a ser misturado com água ou com um gel constituído por polímeros hidrossolúveis, cuja finalidade deste gel seria reduzir a solubilidade do cimento (figura 6) (J Camilleri et al. 2013).

Figura 4: MTA PLUS[™].



Segundo Weng et al. (*cit. in* Formosa et al. 2013), um agente retardador de solubilidade ideal, deve inibir a degradação da pasta do cimento em líquido, não deve interferir na reação de hidratação nem reduzir a bioatividade do cimento. Para além destas características, não deve agravar a estabilidade mecânica após endurecimento, não deve comprometer a sua manipulação, não deve aumentar o tempo de presa e não deve reduzir a radiopacidade do mesmo.

Idealmente um material de preenchimento canalar deveria apresentar propriedades químicas, físicas e biológicas que sejam biocompatíveis. O tempo de trabalho deverá

ser adequado, deve apresentar uma consistência que permita o preenchimento correto do sistema de canais, deve apresentar um tempo de presa médio, ser de curta duração, com uma boa selagem e estabilidade dimensional (Çinar et al. 2013). Quanto à radiopacidade, esta deve ser superior à da dentina, (*cit. in* Cavenago & Pereira 2014) e a solubilidade deverá ser menor que 3%, de acordo com as normas ISO nº6876 (Çinar et al. 2013). Além das demais características físicas, deve também possuir dureza suficiente, para conferir estabilidade dimensional e tolerar forças de compressão.

Relativamente às propriedades químicas e biológicas, idealmente deve apresentar biocompatibilidade e atividade anti-microbiana (Çinar et al. 2013).

De facto, o MTA apresenta muitos destes pré-requisitos.

Partindo da sua constituição base, o Silicato Tricálcico, é o principal protagonista na indução da formação de hidroxiapatite (Josette Camilleri et al. 2013) elemento fundamental na capacidade regenerativa e remineralizadora de tecido duro, aumentando assim a sua capacidade seladora (Formosa, B. Mallia, et al. 2013).

A libertação de iões cálcio contribui para que o pH do meio se torne alcalino, o que por sua vez irá promover uma ação anti-microbiana (Vivan & Zapata 2010), isto é, uma boa selagem contra bactérias e fluídos biológicos, revelando assim o seu comportamento biológico (Kayahan 2009).

O MTA apresenta, desta forma, as propriedades ideais de um material retro-obturador, incluindo assim no seu comportamento a capacidade de adesão às paredes de dentina, tolerância aos tecidos peri-radulares e propriedades regeneradoras bioativas indutoras de formação de tecido duro (Han et al. 2010).

O MTA, de acordo com as suas características químicas e físicas, tem indicação para inúmeras aplicações clínicas em Medicina Dentária. A sua utilização é recomendada em:

- Perfurações radulares, reabsorções internas (Estrela et al. 2012);

- Como material indutor de deposição de cimento, contribuindo para o encerramento apical em dentes imaturos, indutor de apexificação (Formosa, B Mallia, et al. 2013a);
- Como material obturador radicular em cirurgias apicais, apicetomias (Grazziotin - Soares 2013);
- Obturação ortógrada (Han et al. 2010);
- Obturação retrógrada devido à sua adesão às paredes dentinárias (Huang et al. 2005);
- Em casos de hipersensibilidade dentária é utilizado como base ou forro cavitário (R. Vitti et al. 2013);
- Como protetor pulpar direto (Srinivasan 2009);
- Como barreira apical em dentes não vitais imaturos, pulpotomias e pulpetomias em dentição permanente (Srinivasan 2009);

Embora o MTA apresente indicação para a maior parte de tratamentos reparadores de tecidos duros, este material apresenta também alguns inconvenientes à prática clínica em Medicina Dentária:

- Dificuldade de manipulação devido à pequena quantidade de líquido face à proporção de pó, leva a que este material apresente uma consistência seca (Kayahan 2009);
- Apresenta também alguma solubilidade, "wash-out", quando ainda está fresco entra em contato com fluídos orgânicos, tais como o sangue (Formosa, B Mallia, et al. 2013a);
- Necessita de um longo período para que ganhe presa e desta forma, é necessário esperar algum tempo para que atinja a sua consistência final (Vivan & Zapata 2010); (R. Vitti et al. 2013).

Pelos inúmeros MTA's existentes no mercado, esta revisão bibliográfica, visa analisar e sintetizar a evidência científica existente sobre o MTA disponível no mercado que reúna o máximo de características químicas e físicas para a prática clínica em Medicina Dentária.

Este trabalho está estruturado em cinco partes, sendo que a primeira corresponde a uma nota inicial com enquadramento conceptual do estudo, a segunda constituída

pelos procedimentos metodológicos desta revisão bibliográfica com os critérios de inclusão e exclusão e a apresentação da estratégia de pesquisa. A terceira parte apresenta os principais resultados obtidos, seguida da discussão e por último, é elaborada uma nota conclusiva sobre o trabalho desenvolvido, com algumas limitações e sugestões futuras.

2-Materiais e Métodos

No sentido de conhecer a produção científica sobre as "Características Químicas e Físicas de alguns MTA's presentes no mercado", foi efetuada uma revisão bibliográfica baseada em artigos disponíveis nas bases de dados on-line, *Pubmed* e *Scopus*, utilizando a VPN da Faculdade de Medicina Dentária do Porto e da Universidade Fernando Pessoa. Esta realizou-se também com o recurso ao repositório da biblioteca da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade Fernando Pessoa.

A pesquisa foi realizada entre os meses de Maio e Junho de 2014.

As palavras-chave utilizadas nesta revisão bibliográfica foram "Mineral Trioxide Aggregate", "Chemical Properties" e "Physical Properties", correlacionadas com o operador booleano "AND", nos idiomas inglês, português e espanhol.

Dos termos anteriormente referidos, somente o descritor "Mineral Trioxide Aggregate" está validado no *Medical Subject Headings* (MeSH).

Inicialmente foi realizada uma pesquisa aberta, sem qualquer critério de seleção atribuído, da qual obtivemos 2036 artigos.

De forma a estruturar o processo de seleção dos estudos científicos foram considerados critérios de inclusão e exclusão. Desta forma, foram incluídos os artigos que de forma conjunta ou em separado:

- Apresentem a composição química dos vários elementos constituintes do MTA;
- Testem e avaliem o pH;
- Analisem a libertação de iões cálcio;
- Avaliem a micro rigidez da superfície do material, que fica em contacto com os tecidos orgânicos;
- Avaliem o tempo de presa;
- Avaliem a resistência às forças de compressão;
- Avaliem a solubilidade/porosidade;
- Analisem a radiopacidade;

Como critérios de exclusão, os artigos que:

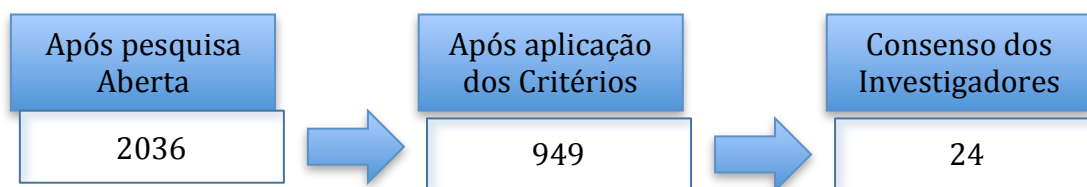
- Não se apresentassem em formato *Full Text*;
- Anteriores ao ano de 2004;
- Estudos de metodologia não científicos;
- Idiomas incompreensíveis para os investigadores;

Após aplicados os critérios estabelecidos previamente obtivemos 949 artigos. Os estudos foram lidos na íntegra por dois investigadores e que, após consenso de ambos, selecionaram 24 artigos (figura 7) que vieram a constituir o *corpus* documental para esta revisão (tabela 1). Os motivos de exclusão dos artigos prendiam-se sobretudo por não cumprimento dos objetivos desta revisão, estavam em duplicado e a metodologia adotada não era explicada com clareza.

Tabela 1 – Processo de seleção dos artigos.

Bases de dados / Bibliotecas	Pesquisa aberta	Aplicação dos critérios	Consenso dos investigadores
Pubmed VPN: FMDUP	560	480	8
Pubmed VPN: UFP	968	467	14
SCOPUS	508	2	2

Figura 7 – Fluxograma- Metodologia de Pesquisa.



II- Desenvolvimento

1-Resultados

Por forma a facilitar a análise posterior e após selecionados os artigos para esta revisão bibliográfica, os resultados serão apresentados tendo em consideração os diferentes MTA's;

Cimento de Portland

Composição Química:

Na tabela 2, (Comin-Chiaramonti & Cavalleri 2009), apresentam a composição química do Cimento de Portland ("Cementirossi", Fumane, Verona Itália), mostrando quais são os constituintes base presentes no clínquer do CP. Podemos verificar uma maior concentração de CaO (63,22 wt%) e de SiO₂ (24,56 wt%) e uma menor concentração de MnO (0,04 wt%), não se verificando a presença de CO₂.

Tabela 2- Constituintes do Cimento Portland (wt%).

Composição do Cimento Portland													
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	SO ₃	H ₂ O
24.56	0.11	5.15	3.21	0.06	0.04	0.46	63.22	0.11	0.25	0.24	-	1.54	0.69

Na tabela 3, (Comin-Chiaramonti & Cavalleri 2009), estão representadas as 4 fases cristalinas, sendo que a Alita apresenta a maior percentagem (43,54 wt%) e a Alúmina a de menor com 7.02 wt%.

Tabela 3- Percentagem das fases cristalinas do CP (wt%).

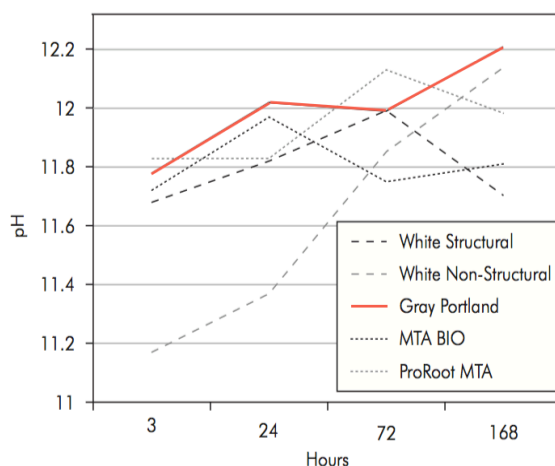
Fases Cristalinas do CP			
Alita	Belita	Alúmina	Ferrita
43.54	32.85	7.02	9.75

Com a hidratação, durante estas fases, formaram-se Portlandite (Ca(OH)_2) e Ettringite com hidratação do Trissilicato de Cálcio na presença de gesso (Comin-Chiaramonti & Cavalleri 2009).

pH

Através do estudo de (Gonçalves & Viapiana 2010), verificou-se que o pH do CP manteve-se praticamente estacionário entre as 24 e as 72h de aplicação (12.0), a partir da qual a sua alcalinidade aumentou (± 0.17) (gráfico 1).

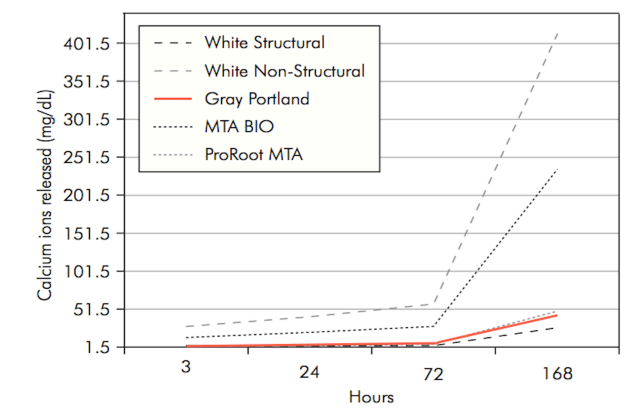
Gráfico 1- pH do Cimento de Portland.



Libertação Iões Cálcio

Segundo um estudo analisado (Gonçalves & Viapiana 2010), a libertação de iões cálcio no CP ocorre praticamente após as 72 horas da sua aplicação (gráfico 2), com uma concentração de $17.7 \text{ mg/dl} \pm 22.6 \text{ (mg/dL)}$.

Gráfico 2-Libertação iões cálcio (mg/dL) do CP.



Tempo de Presa

Como referido anteriormente, o tempo de presa é o tempo medido desde o momento em que se inicia a mistura de cimento/solução até se atingir a sua forma final, sem que haja deformação após aplicar força com uma agulha (Hwang et al. 2011).

Desta forma, no estudo de (Hwang et al. 2011) determinou-se o tempo de presa do CP através de um aparelho Vicat (Humboldt Mgf Co, Schiller Park, II), cujo resultado foi de $370.0 \pm 77.5 \text{ (min)}$ ($P < 0.05$).

Num estudo analisado (Islam et al. 2006), o tempo de presa foi determinado de acordo com os métodos recomendados pelas normas (ISO) n°6876:2001e realizado segundo

os mesmos princípios do estudo de (Hwang et al. 2011). Foi assim verificado que após o início da mistura cimento/solução, o tempo de presa iniciou-se aos 70 minutos, atingindo o final da reação de presa aos 170 minutos (tabela 4).

Tabela 4 - Tempo de presa do Cimento de Portland.

Tipo de Cimento	Tempo de Presa (min)	
	Inicial	Final
CP	70 ± 2.16	170 ± 2.58

Força de Compressão

No estudo conduzido por (Hwang et al. 2011), a força de compressão foi determinada através de uma máquina de teste universal (Instron, Model GB/4302; Instron Corp, Canton, MA) e medida em MegaPascais (MPa). Verificamos que a força de compressão do CP, aumenta 15.3 MPa entre o primeiro e o terceiro dia e que até ao sétimo dia esta força tem um declínio de 11.26 MPa (tabela 5).

Tabela 5 - Força de compressão do CP (MPa).

Tipo de Cimento	1º dia	3º dia	7º dia
CP	28.06 ± 4.31	43.36 ± 4.39	32.10 ± 1.01

Num estudo analisado (Islam et al. 2006), ao terceiro dia, a força de compressão obtida (48.06 MPa) é muito semelhante ao resultado de outro já mencionado (Hwang et al. 2011). No entanto, à medida que o tempo vai aumentando também a força de compressão parece seguir essa tendência, ao contrário do estudo de Hwang et al. (2011) (tabela 6).

Tabela 6 - Força de Compressão do CP (MPa).

Tipo de Cimento	Força de Compressão (MPa)	
	3º dia	28º dia
CP	48.06 ± 6.14	50.66 ± 1.37

Solubilidade

No estudo de Islam et al. (2006) a solubilidade do CP foi determinada, tendo-se obtido o valor de 1.06 ± 0.07 .

Grey ProRoot MTA[®]

Constituição Química

Na tabela 7, (Comin-Chiaramonti & Cavalleri 2009), apresentam a composição química do Grey ProRoot MTA[®] (Tulsa Dental, OK, USA), mostrando quais são os constituintes básicos do cimento. Podemos verificar uma maior concentração de CaO (56.17 wt%) e de SiO₂ (23.59 wt%) e uma menor concentração de MnO (0.01 wt%), FeO (0.06 wt%) e TiO₂ (0.08 wt%). Verificou-se ausência de Na₂O, K₂O e CO₂.

Tabela 7- Constituição Química do Grey ProRoot MTA[®] (wt%).

Composição Química do Grey ProRoot MTA [®]														
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	SO ₃	H ₂ O+	Bi ₂ O ₃
23.59	0.08	5.91	6.69	0.06	0.01	4.30	56.17	-	-	0.25	-	2.03	0.91	15.90

Na tabela 8, (Comin-Chiaramonti & Cavalleri 2009), estão representadas as 4 fases cristalinas, sendo a fase Alita a que apresenta maior percentagem (44.62 wt%) e a Ferrita a menor (6.26 wt%).

Tabela 8- Fases Cristalinas do Grey ProRoot MTA[®].

Fases Cristalinas do Grey ProRoot MTA [®]			
Alita	Belita	Alúmina	Ferrita
44.62	33.67	9.11	6.26

pH

O pH do Grey ProRoot MTA[®] também foi alvo de atenção de Vasconcelos et al. (2009). O valor de alcalinidade às 3 horas era de 9.36 ± 0.23 , decrescendo até atingir 8.16 ± 0.18 às 168 horas (tabela 9).

Tabela 9-pH do Grey ProRoot MTA[®] (%).

Tipo de Cimento	pH (%)			
	3h	24h	72h	168h
Grey ProRoot MTA [®]	9.36 ± 0.23	8.88 ± 0.38	88.74 ± 0.38	8.16 ± 0.18

Libertação Iões Cálcio

Segundo o estudo (de Vasconcelos et al. 2009), também avaliou a libertação de iões cálcio também foi obtida para o Grey ProRoot MTA[®]. Pelas 3 horas a sua concentração era de 1.22 ± 0.01 mg/dL, tendo decrescido às 24 horas para 0.51 ± 0.03 mg/dL. A partir desta hora, foi aumentando até atingir o seu máximo às 168 horas (1.30 ± 0.02 mg/dL), (tabela 10).

Tabela 10- Liberação de Iões Cálcio (mg/dL) do Grey ProRoot MTA[®].

Tipo de Cimento	Libertação Iões Cálcio (mg/dL)			
	3h	24h	72h	168h
Grey ProRoot MTA [®]	1.22 ± 0.01	0.51 ± 0.03	0.99 ± 0.05	1.30 ± 0.02

O estudo de (Çinar et al. 2013) avaliou-se a liberação de iões cálcio do Grey ProRoot MTA[®]. Neste estudo, a concentração foi aumentando atingindo desde os 10 minutos iniciais até às 24 horas, onde ocorreu o pico máximo (25.23 ± 1.78 mg/L) tendo posteriormente decrescido até às 168 horas (9.50 ± 1.03 mg/L).

Tabela 11- Liberação Iões Cálcio (mg/L) segundo Çinar et al. (2013).

Libertação Iões Cálcio Grey ProRoot MTA [®] (mg/L)	
10 min	7.66 ± 1.73
3h	15.23 ± 2.45
24h	25.23 ± 1.78
48h	15.23 ± 0.89
72h	16.22 ± 1.50
168h	9.50 ± 1.03

Tempo de Presa

Segundo o estudo de Cutajar et al. (2011), o tempo de presa final do cimento após spatulação em condições ambientais, foi de 168 minutos, tempo superior ao observado em incubadora, sendo este de 140 minutos (tabela 12).

Tabela 12- Tempo de Presa do Grey ProRoot MTA[®] segundo Cutajar et al. (2011).

Tempo de Presa (min) Grey ProRoot MTA [®]	
Condições Ambientais	168
Incubador	140

O tempo de presa do Grey ProRoot MTA[®] foi analisado por três autores com resultados muito diferentes, sendo que após iniciarem a mistura cimento/solução, Lee et al. (2013) verificaram que o tempo de presa iniciou-se aos 164 minutos, atingindo o seu máximo aos 594 minutos, enquanto que para Islam et al. (2006) iniciou-se aos 70 minutos, atingindo o seu máximo aos 175 minutos. Por outro lado Çinar et al. (2013) verificaram que após iniciarem a mistura cimento/solução, o tempo de presa iniciou-se aos 15.50 minutos, atingindo o seu máximo aos 56 minutos (tabela 13).

Tabela 13- Tempo de Presa do Grey ProRoot MTA[®].

Tempo de Presa (min) Grey ProRoot MTA [®]		
Autores	Inicial	Final
S. Lee et al. (2013)	164 ± 9	594 ± 36
I. Islam et al. (2006)	70 ± 2.58	175 ± 2.55
Çinar et al. (2013)	15.50	56.00

Força de Compressão

Num estudo analisado (Cutajar et al. 2011), a força de compressão foi determinada através de um aparelho de teste de compressão (Controls 50-C0050/CAL; Controls spa, Milão, Itália) e foi de 67.64 (MPa) ($p < 0.05$).

Segundo o estudo de Islam et al. (2006), os valores de Força de Compressão foram aumentando a partir do terceiro dia, atingindo o seu máximo aos 28 dias com o valor de 98.62 ± 5.74 (MPa), (tabela 14).

Tabela 14- Força de Compressão do Grey ProRoot MTA[®].

Força de Compressão (MPa) Grey ProRoot MTA [®]	
3 dias	50.43 ± 1.30
28 dias	98.62 ± 5.74

Solubilidade

Relativamente à solubilidade do Grey ProRoot MTA[®], ÇINAR et al. (2013) obtiveram o valor de 1.01 % às 168h (p <0.05). Por outro lado, Cutajar et al. (2011) obtiveram 8.48% às 672h (p <0.05) e Islam et al. (2006) o resultado de 1.06 ± 0.07 % (p <0.05).

Radiopacidade

A Radiopacidade do Grey ProRoot MTA[®] foi medida de acordo com as normas ISO nº 6876: 2001 no estudo de Islam et al. (2006). De acordo com estes autores, a radiopacidade determinada foi de 6.47 Al/mm.

WhiteProRoot MTA[®]

Constituição Química

Na tabela 15, (Comin-Chiaramonti & Cavalleri 2009), apresentam a composição química do White ProRoot MTA[®] (Tulsa Dental, OK, USA), mostrando os constituintes básicos do cimento. Podemos observar uma maior concentração de CaO (62.60 wt%) e SiO₂ (25.53 wt%) e uma menor concentração de MnO (0.01 wt%), FeO (0.13wt%) e TiO₂ (0.15 wt%). Verificamos a ausência do Na₂O, K₂O e CO₂.

Tabela 15- Constituição Química do White ProRoot MTA[®].

Composição Química do White ProRoot MTA [®] (wt%)														
Si O ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe O	Mn O	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	SO ₃	H ₂ O+	Bi ₂ O ₃
25. 53	0.15	3.67	0.46	0.13	0.01	1.78	62.60	-	-	0.40	-	2.94	2.33	16. 13

Na tabela 16, (Comin-Chiaramonti & Cavalleri 2009), apresentam as 4 fases cristalinas, sendo a fase Alita (45.46 wt%) a que apresenta a maior percentagem e a Ferrita (6.29 wt %) a menor.

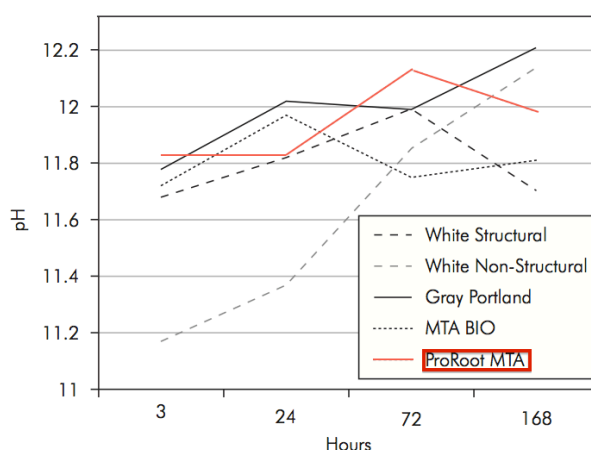
Tabela 16- Fases Cristalinas do White ProRoot MTA[®].

Fases Cristalinas do White ProRoot MTA [®]			
Alita	Belita	Alúmina	Ferrita
45.46	34.33	8.89	6.26

pH

Segundo Gonçalves & Viapiana (2010), o pH do White ProRoot MTA[®] mantém-se entre as 3 e às 24 horas em 11.8, subindo este valor até as 72 horas e caindo de imediato às 168 horas, atingindo um pH final de 11.8 ± 0.14 (gráfico 3).

Gráfico 3- pH do White ProRoot MTA[®].



Segundo o estudo de Antunes Bortoluzzi et al. (2006), o pH do White ProRoot MTA[®] foi analisado, verificando-se um aumento do seu valor até atingir a sua máxima alcalinidade às 24 horas com o valor de 11.5 ± 0.20 (tabela 20). Por outro lado, no estudo de Porter et al. (2010), o pH inicial do White ProRoot MTA[®] (12,6) foi

superior ao valor encontrado por (Antunes Bortoluzzi et al. 2006) às 24 horas (tabela 17).

Tabela 17- pH do White ProRoot MTA[®] segundo Cutajar et al. (2011).

Tipo de Cimento	pH		
	Imediato	60 min	24h
White ProRoot MTA [®]	9.6 ± 0.14	11.0 ± 0.14	11.5 ± 0.20

Também Gandolfi & Taddei (2013) avaliaram o pH do White ProRoot MTA[®], tendo aumentado progressivamente das 3 horas até aos 7 dias atingindo a máxima alcalinidade (7.8 ± 0.1), embora esse valor tenha diminuído aos 14 dias para 7.8 ± 0.1 , subindo ligeiramente para 8.9 ± 0.7 ao fim de 28 dias (tabela 18).

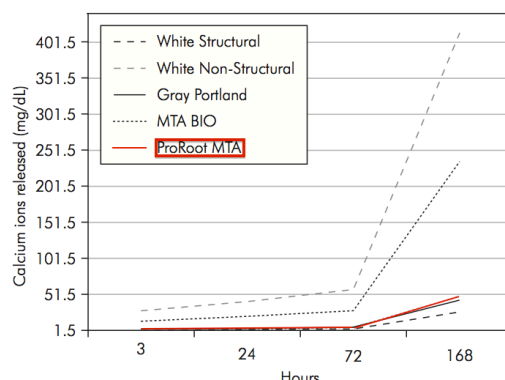
Tabela 18- pH do White ProRoot MTA[®] Segundo Gandolfi & Taddei (2013).

Tipo de Cimento	pH				
	3h	24h	7 dias	14 dias	28 dias
White ProRoot MTA [®]	11.4 ± 0.1	11.5 ± 0.4	11.2 ± 0.7	7.8 ± 0.1	8.9 ± 0.7

Libertação Iões Cálcio

Segundo Gonçalves & Viapiana (2010), a concentração de libertação de iões cálcio manteve-se contínua até às 72 horas, momento em que esta aumenta atingindo o valor máximo de 15.64 ± 21.3 (mg/dL) às 168 horas (gráfico 4).

Gráfico 4- Concentração de Liberação Iões Cálcio (mg/dL).



Segundo o estudo de Antunes Bortoluzzi et al. (2006), a Liberação de Iões Cálcio do White ProRoot MTA[®] atingiu o seu máximo às 24 horas (0.52 ± 0.13) (tabela 19).

Tabela 19- Liberação Iões Cálcio do White ProRoot MTA[®].

Tipo de Cimento	Libertação Iões Cálcio (mg/dL)		
	Imediato	60 min	24h
White ProRoot MTA [®]	0.04 ± 0.01	0.10 ± 0.01	0.52 ± 0.13

Também Gandolfi & Taddei (2013) avaliaram a Liberação Iões Cálcio do White ProRoot MTA[®]. O seu máximo de liberação verificou-se às 24 horas, tal como no estudo de Antunes Bortoluzzi et al. (2006). A partir deste momento a concentração baixou até 24.2 ± 3.7 aos 7 dias, aumentando ligeiramente aos 28 dias com o valor de 15.9 ± 2.2 (tabela 20).

Tabela 20- Liberação Iões Cálcio segundo Gandolfi & Taddei (2013).

Tipo de Cimento	Libertação Iões Cálcio (ppm)				
	3h	24h	7 dias	14 dias	28dias
White ProRoot MTA [®]	31.8 ± 4.5	35.6 ± 2.3	24.2 ± 3.7	14.8 ± 1.7	15.9 ± 2.2

Tempo de Presa

De acordo com o estudo de Islam et al. (2006), após iniciarem a mistura do cimento/solução, o Tempo de Presa iniciou-se aos 40 ± 2.94 minutos e a sua reação terminou aos 140 ± 2.58 minutos (tabela 21).

Tabela 21- Tempo de Presa.

Tempo de Presa (min) White ProRoot MTA [®]	
Inicial	40 ± 2.94
Final	140 ± 2.58

No estudo de Porter et al. (2010), o tempo de presa foi avaliado de acordo com o método referido anteriormente, respeitando as normas ISO n°6876. Desta forma, os resultados obtidos foram de 150 (min) para o White ProRoot MTA[®] ($p < 0.05$), diferente do estudo de Hwang et al. (2011), em que o Tempo de Presa foi 219.2 ± 39.8 minutos.

Força de Compressão

Segundo o estudo de Islam et al. (2006), os valores de Força de Compressão aumentaram de 45.84 ± 1.32 (3° dia) até atingir o valor de 86.02 ± 10.32 (28° dia) (tabela 22).

Tabela 22- Força de Compressão White ProRoot MTA[®] Segundo Hwang et al. (2011).

Força de Compressão (MPa) White ProRoot MTA [®]	
3 dias	45.84 ± 1.32
28 dias	86.02 ± 10.32

No estudo de Porter et al. (2010) a Força de Compressão do White ProRoot MTA[®] foi determinada, sendo o valor desta 27.0 ± 7.0 (MPa), ($p < 0.05$).

Segundo Hwang et al. (2011), a Força de Compressão do White ProRoot MTA[®] aumentou do primeiro dia até ao terceiro dia (43.65 ± 8.35 MPa), com valores muito próximos aos obtidos por Islam et al. (2006). Posteriormente até ao 7º dia, este valor diminuiu, tendo sido de 30.77 ± 0.51 MPa (tabela 23).

Tabela 23- Força de Compressão.

Tipo de Cimento	Força de Compressão (MPa)		
	1º dia	3º dia	7º dia
White ProRoot MTA [®]	27.41 ± 3.83	43.65 ± 8.35	30.77 ± 0.51

Solubilidade

Relativamente à solubilidade do White ProRoot MTA[®], o estudo de Islam et al. (2006) obteve o valor de 1.28 ± 0.02 %, ($p < 0.05$).

Radiopacidade

A Radiopacidade do White ProRoot MTA[®] foi medida de acordo com as normas ISO nº 6876: 2001 no estudo de Islam et al. (2006). De acordo com os autores, a radiopacidade determinada foi de 6.74 Al/mm.

MTA Angelus®

Constituição Química

Na tabela 24, (Comin-Chiaramonti & Cavalleri 2009), apresentam a composição química do MTA Angelus® (Industria de Produtos Odontológicos Ltda, Londrina, Paraná State, Brasil), mostrando quais são os constituintes básicos do cimento. Podemos verificar maior concentração do CaO (63.34 wt%) e SiO₂ (23.10 wt%). A menor concentração é do P₂O₅ (0.35 wt%) e do MgO (0.89 wt%). Verificamos então a ausência de TiO₂, FeO, MnO, Na₂O, K₂O, e CO₂.

Tabela 24- Constituição Química MTA Angelus®.

Composição do MTA Angelus® (wt%)														
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	SO ₃	H ₂ O	Bi ₂ O ₃
23.10	-	4.96	2.70	-	-	0.89	63.34	-	-	0.35	-	2.61	1.55	18.04

Na tabela 25, representa o estudo orientado por Comin-Chiaramonti & Cavalleri (2009), sobre as 4 fases cristalinas, sendo a fase Alita a fase de maior percentagem (44.95%) e a Alúmina a de menor percentagem (4.96%).

Tabela 25- Fases Cristalinas do MTA Angelus®.

Fases Cristalinas do MTA Angelus® (wt%)			
Alita	Belita	Alúmina	Ferrita
44.95	33.93	4.96	8.20

pH

Gandolfi & Taddei (2013) avaliaram o pH do MTA Angelus[®], tendo o valor registado às 3 horas (11.5 ± 0.1) foi diminuído até aos 28 dias, cujo valor foi de 9.3 ± 0.7 (tabela 26).

Tabela 26- pH do MTA Angelus[®].

pH					
Tipo de Cimento	3h	24h	7 dias	14 dias	28dias
MTA Angelus [®]	11.5 ± 0.1	11.1 ± 0.1	11.2 ± 0.6	10.3 ± 0.5	9.3 ± 0.7

Também no estudo de Santos & Moraes (2005) é determinado o pH para o MTA Angelus[®], com um aumento da alcalinidade até às 24 horas (10.39) e uma diminuição progressiva, com ligeiras oscilações, até às 360 horas (7.72) (tabela 27).

Tabela 27- pH MTA Angelus[®] (%) segundo Santos & Moraes (2005).

Tempo	pH do MTA Angelus [®]
Tempo inicial	6.00
24h	10.39
48h	9.41
72h	9.59
96h	7.35
192h	9.42
240h	7.61
360h	7.72

O pH do MTA Angelus[®] foi determinado no estudo de Vasconcelos et al. (2009) e os resultados diminuíram após as 3 horas, mantendo-se constantes entre as 24 horas e as 72 horas, voltando a diminuir às 168 horas (8.68 ± 0.32) (tabela 28).

Tabela 28- pH do MTA Angelus[®] segundo Vasconcelos et al. (2009).

Tipo de Cimento	pH (%)			
	3h	24h	72h	168h
MTA Angelus [®]	9.78 ± 0.13	9.58 ± 0.41	9.60 ± 0.24	8.68 ± 0.32

Libertação Iões Cálcio

Gandolfi & Taddei (2013) avaliaram a Libertação de Iões Cálcio do MTA Angelus[®], tendo aumentado das 3 horas aos 7 dias. Após 7 dias, a concentração diminuiu de 51.1 ± 6.5 para 19.7 ± 3.8 aos 28 dias (tabela 29).

Tabela 29- Libertação Cálcio segundo Gandolgi & Taddei (2013).

Tipo de Cimento	Libertação Iões Cálcio (ppm)				
	3h	24h	7 dias	14 dias	28dias
MTA Angelus [®]	34.50 ± 6.3	38.2 ± 14.2	51.1 ± 6.5	13.7 ± 8.7	19.7 ± 3.8

Também no estudo de Santos & Moraes (2005) é analisada a Libertação de Iões Cálcio para o MTA Angelus[®], com valores que oscilaram entre a ausência de libertação, na fase inicial e os 8.56 às 360 horas. De referir ainda que neste estudo, os valores mais elevados que se obtiveram, correspondem aos que são estatisticamente mais significativos (tabela 30).

Tabela 30- Libertação Iões Cálcio segundo Santos & Moraes (2005).

Tempo	Libertação Iões Cálcio do MTA Angelus [®] (mg/dL)
Tempo inicial	0.00 (p=1)
24h	7.32 (p < 0.01)
48h	3.44 (p > 0.05)
72h	2.24 (p > 0.05)
96h	0.40 (p > 0.05)
192h	7.92 (p < 0.01)
240h	4.2 (p > 0.05)
360h	8.56 (p < 0.01)

Também a Liberação de Iões Cálcio do MTA Angelus[®] foi determinada no estudo de Vasconcelos et al. (2009). A sua concentração diminuiu das 3 horas às 24 horas, tendo este valor aumentado progressivamente até às 168 horas, com o valor de 1.28 ± 0.03 (mg/dL), (tabela 31).

Tabela 31-Libertação Iões Cálcio segundo Vasconcelos et al. (2009).

Tipo de Cimento	Libertação Iões Cálcio(mg/dL)			
	3h	24h	72h	168h
MTA Angelus [®]	1.23 ± 0.01	0.49 ± 0.04	0.99 ± 0.04	1.28 ± 0.03

Tempo de Presa

Kaul et al. (2013) avaliaram o Tempo de Presa do MTA Angelus[®], um aumento do 1º para o 2º ensaio e uma diminuição pouco significativa do 2º para o 3º ensaio (tabela 32).

Tabela 32- Tempo de Presa MTA Angelus[®].

MTA Angelus [®]	Tempo de Presa (min e seg)
1º ensaio	157min e 30seg
2º ensaio	164 min e 7seg
3º ensaio	161 min e 12seg

MTAB[®] Angelus

Constituição Química

No estudo levado a cabo por Grazziotin - Soares (2013), a constituição química do MTAB[®] Angelus foi analisada através de um difractograma em 2 momentos: O primeiro, quando o MTA se encontra desidratado (figura 8) e o segundo momento quando o MTA está hidratado (figura 9).

Pela análise dos gráficos 5 e 6 e das tabelas 33 e 34, verificamos que na passagem da fase de desidratação (1º momento), para a fase de hidratação (2º momento), houve uma diminuição da percentagem de Silicato Tricálcico em 60.4%, por outro lado o Silicato Dicálcico aumentou em 5% e o Óxido de Bismuto manteve-se praticamente inalterado.

Gráfico 5- Difractograma do MTAB[®] desidratado (1º momento).

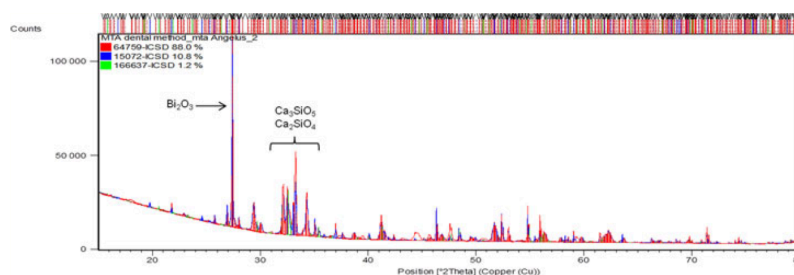


Tabela 33- Constituição Química MTAB[®] desidratado.

Composição MTAB [®] Angelus desidratado	
Silicato Tricálcico (Ca_3SiO_5)	88.0%
Silicato Dicálcico (Ca_2SiO_4)	1.2%
Óxido de Bismuto (Bi_2O_3)	10.8%

Gráfico 6- Difractograma MTAB[®] hidratado (2º momento).

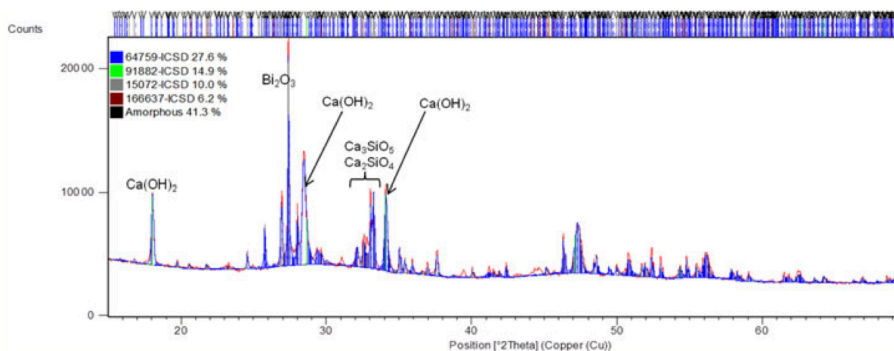


Tabela 34- Constituição Química MTAB[®] hidratado.

Composição MTAB [®] Angelus hidratado	
Silicato Tricálcico (Ca_3SiO_5)	27.6%
Silicato Dicálcico (Ca_2SiO_4)	6.2%
Óxido de Bismuto (Bi_2O_3)	10%
Hidróxido de Cálcio ($\text{Ca}[\text{OH}]_2$)	14.9%
Fase Amorfa	41.3%

pH

O pH do MTAB[®] foi estudado e determinado no estudo de Antunes Bortoluzzi et al. (2006), e o valor obtido foi aumentando progressivamente até às 24h com o valor de 11.5 ± 0.14 % (tabela 35).

Tabela 35- pH do MTAB[®] segundo Antunes Bortoluzzi et al. (2006).

Tipo de Cimento	pH (%)		
	Imediato	60 min	24h
MTAB [®]	9.6 ± 0.18	10.9 ± 0.18	11.5 ± 0.14

Também no artigo de Cavenago & Pereira (2014), o pH do MTAB[®] foi determinado, apresentando valores que foram oscilando entre as 3 horas (7.75 ± 0.69) e as 168 horas (7.71 ± 0.21) (tabela 36).

Duarte (2012) também no seu artigo apresentou valores do pH para o MTAB[®], que da mesma forma como Cavenago & Pereira (2014), os valores de pH compreendidos no mesmo espaço temporal, apresentam o mesmo fluxo oscilatório, apesar de terem valores ligeiramente diferentes nos quatro momentos de avaliação (tabela 36).

No estudo levado a cabo por Vivan & Zapata (2010), o pH do MTAB[®] também foi determinado, com valores superiores em todos os momentos, relativamente aos estudos anteriores e que neste apresenta uma subida de pH de aproximadamente 2 valores nos 4 momentos de avaliação, relativamente aos restantes estudos (tabela 36).

No estudo de Vasconcelos et al. (2009), contrariamente aos estudos anteriores, os valores de pH do MTAB[®] foram decrescendo ao longo dos quatro momentos de avaliação, desde os 9.42 ± 0.22 às 3 horas até aos 8.16 ± 0.26 , às 168 horas (tabela 36).

Tabela 36 – pH do MTAB[®].

pH do MTAB [®]				
Autores	3h	24h	72h	168h
B. Cavenago et al. (2014)	7.75 ± 0.69	7.84 ± 0.83	7.31 ± 0.05	7.71 ± 0.21
M. Duarte (2012)	7.72 ± 0.28	7.80 ± 0.37	7.48 ± 0.02	7.81 ± 0.32
R. Vivan et al. (2010)	9.68 ± 1.03	9.22 ± 0.59	8.68 ± 0.52	9.16 ± 0.47
B. Vasconcelos et al. (2009)	9.42 ± 0.22	8.58 ± 0.41	8.48 ± 0.28	8.16 ± 0.26

Libertação Iões Cálcio

Vários autores analisaram a Libertação de Iões Cálcio, com valores divergentes entre os autores, nos diferentes momentos de avaliação. Verificamos pela análise da tabela 37, que o estudo de Vasconcelos et al. (2009) apresenta valores inferiores em todos os

momentos, relativamente aos resultados dos estudos conduzidos pelos restantes autores.

Tabela 37- Liberação de Iões Cálcio no MTAB[®].

Libertação de Iões Cálcio no MTAB [®] (mg/L ⁻¹)				
Autores	3h	24h	72h	168h
B. Cavenago et al. (2014)	5.29 ± 1.09	4.46 ± 1.04	2.15 ± 0.37	5.48 ± 1.22
M. Duarte (2012)	6.95 ± 2.48	3.10 ± 0.78	4.02 ± 0.99	0.24 ± 0.25
R. Vivan et al. (2010)	10.92 ± 5.45	2.56 ± 1.26	3.72 ± 1.03	4.54 ± 1.95
B. de Vasconcelos et al. (2009)	1.22 ± 0.02	0.40 ± 0.06	0.88 ± 0.04	1.32 ± 0.05

Antunes Bortoluzzi et al. (2006), também analisou a Libertação de Iões Cálcio no MTAB[®] e os resultados que obteve aproximam-se aos que foram obtidos por Vasconcelos et al. (2009) (tabela 38).

Tabela 38- Libertação de Iões Cálcio no MTAB[®] segundo Antunes Bortoluzzi et al. (2006).

Tipo de Cimento	Libertação Iões Cálcio (mg/dL)		
	Imediato	60 min	24h
MTAB [®]	0.12 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.8 ± 0.05

Tempo de Presa

O Tempo de Presa do MTAB[®] foi determinado por três autores, conforme tabela 39 e pela sua análise, verificamos que em todos houve um aumento da fase inicial para a final, com o estudo de Grazziotin-Soares (2013) a apresentar um valor muito superior (165.00 min ± 31.623), na fase final, relativamente aos restantes estudos.

Tabela 39- Tempo de Presa do MTAB[®] (min).

Tempo de Presa do MTAB [®] (min)		
Autores	Inicial	Final
M. Duarte (2012)	15 min ± 1.4	30 min ± 1.6
R. Grazziotin-Soares (2013)	18.33min ± 7.528	165.00 min ± 31.623
R Vivan et al. (2010)	9.33 min	23.33 min

Força de Compressão

Nos dois estudos que analisaram as Forças de Compressão ((Grazziotin - Soares 2013); (Akbari et al. 2013)), os resultados são muito díspares, apesar dos valores de MPa terem aumentado no espaço temporal das 24 horas para os 7 dias (tabela 40).

Tabela 40 - Força de Compressão (MPa) do MTAB[®].

Força de Compressão do MTAB [®] (MPa)		
Autores	24h	7 dias
R. Grazziotin-Soares (2013)	39.9	47.87
M. Akbari et al. (2013)	1.16 ± 0.31	2.19 ± 0.87

Solubilidade

Segundo da Solubilidade do MTAB[®], determinada no estudo de Cavenago & Pereira (2014), os valores obtidos foram 1.62 ± 1.27 %.

MTA Fillapex[®]

Constituição Química

A Composição Química do MTA Fillapex[®] foi descrita nos artigos de R. Vitti et al. (2013), Borges et al. (2014) e no artigo de R. P. Vitti et al. (2013).

Em ambos os estudos, a apresentação da Composição Química foi a seguinte de acordo com a tabela 41.

Tabela 41- Constituição Química do MTA Fillapex[®].

	Composição Química de acordo com o fabricante: Angelus, Londrina, Brazil, 19595
MTA Fillapex [®]	resina salicilato; resina diluente; resina natural; óxido de bismuto; sílica nanoparticulada; MTA Angelus; pigmentos

pH

Segundo o artigo de R. Vitti et al. (2013), o pH do MTA Fillapex[®] aumenta até às 24 horas e posteriormente vai diminuindo até chegar ao valor 8.67 ± 0.09 , registado aos 28 dias (tabela 42).

Tabela 42- pH do MTA Fillapex[®].

Tipo de Cimento	pH (%)					
	3h	1º dia	4º dia	7º dia	14º dia	28º dia
MTA Fillapex [®]	9.19 ± 0.07	9.47 ± 0.07	9.34 ± 0.08	9.14 ± 0.08	8.90 ± 0.13	8.67 ± 0.09

No estudo de Borges et al. (2014), é apresentado só um valor para o pH do MTA Fillapex[®] que é de 9.97 ± 0.90 ($p < 0.05$), muito próximo do valor obtido por R. Vitti et al. (2013) no 1º dia.

Libertação Iões Cálcio

Segundo o artigo de R. Vitti et al. (2013), a Libertação de Iões Cálcio do MTA Fillapex[®] oscilou entre 7.97 ± 1.72 , da 3 hora do primeiro dia e os 10.08 ± 1.38 do 28º dia, praticamente numa evolução crescente nos 6 momentos de avaliação (tabela 43).

Tabela 43- Libertação de Iões Cálcio do MTA Fillapex[®].

Tipo de Cimento	Libertação de Iões Cálcio na solução (ppm)					
	3h	1º dia	4º dia	7º dia	14º dia	28º dia
MTA Fillapex [®]	7.97 ± 1.72	8.88 ± 0.69	9.57 ± 0.56	9.36 ± 0.36	9.86 ± 1.30	10.08 ± 1.38

Tempo de presa

No artigo de R. Vitti et al. (2013), o Tempo de Presa do MTA Fillapex[®] foi determinado. Os resultados de início e final de reação de presa são:

Tabela 44- Tempo de Presa do MTA Fillapex[®].

Tipo de Cimento	Tempo de Presa (min)	
	Inicial	Final
MTA Fillapex [®]	136.3 ± 4.04	273.3 ± 3.21

Força de Compressão

Segundo o estudo de Viapiana et al. (2014) a Força de Compressão do MTA Fillapex[®] foi determinada, sendo apresentado os resultados da seguinte forma:

Tabela 45- Força de Compressão do MTA Fillapex[®].

Força de Compressão MTA Fillapex [®] (MPa)	
24h	21º dia
5.34 ± 1.41	3.10 ± 1.49

Solubilidade

Segundo o artigo de R. Vitti et al. (2013), a Solubilidade do MTA Fillapex[®] foi aumentando gradualmente do primeiro ao 28^o dia (tabela 46).

Tabela 46- Solubilidade do MTA Fillapex[®].

Tipo de Cimento	Solubilidade (%)			
	1 ^o dia	7 ^o dia	14 ^o dia	28 ^o dia
MTA Fillapex [®]	9.31 ± 0.62	15.16 ± 0.79	22.40 ± 0.80	25.55 ± 0.85

Também no artigo de Borges et al. (2014) a Solubilidade do MTA Fillapex[®] foi determinada, tendo os resultados obtidos sido 2.88 ± 0.48 (%), ($p < 0.05$).

Radiopacidade

A Radiopacidade do MTA Fillapex[®] foi medida de acordo com as normas ISO n^o 6876: 2001 no estudo de Borges et al. (2014). De acordo com este autor, a radiopacidade determinada foi de 172.00 ± 7.42 Al/mm ($p < 0.05$), enquanto que no estudo de R. Viapiana et al. (2014) o valor determinado para a radiopacidade foi de 7.11 ± 0.35 Al/mm ($p < 0.05$).

MTA PLUS[®]

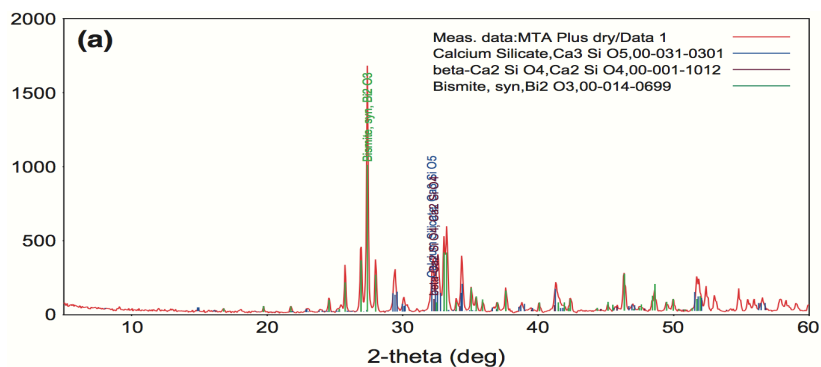
Constituição Química

A Constituição Química do MTA PLUS[®] foi determinada no artigo de J Camilleri et al. (2013) sendo esta apresentada através de um difactograma por raio X em dois momentos distintos: Cimento Desidratado e Cimento Hidratado.

No difactograma do MTA PLUS[®] Desidratado, verificamos pela análise do gráfico 7 a presença na sua constituição compostos de: Silicato Tricálcico; Silicato Dicálcico e Óxido de Bismuto.

Cimento Desidratado

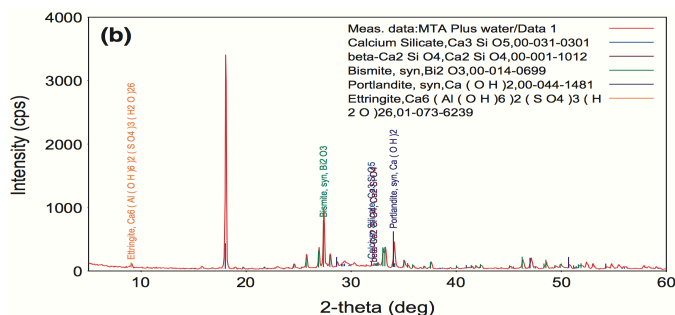
Gráfico 7- Constituição Química do MTA PLUS[®] Desidratado.



Após hidratação do MTA PLUS[®], verificamos pelo gráfico 8 a apresenta na sua constituição: Silicato Tricálcico; Silicato Dicálcico; Óxido de Bismuto; Portlandite (hidróxido de cálcio) e Etringite.

Cimento Hidratado

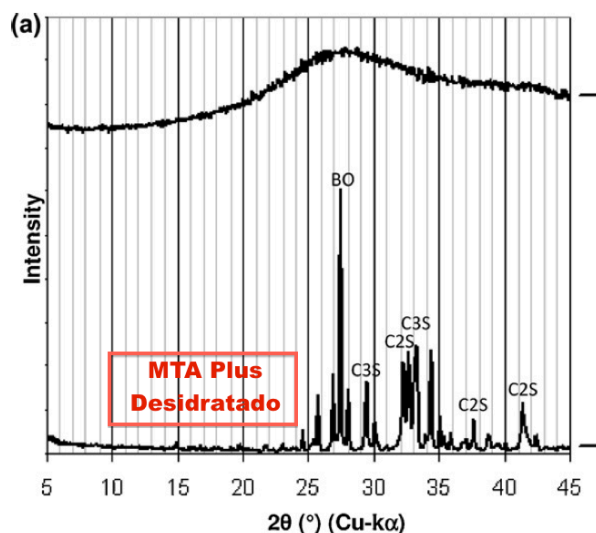
Gráfico 8- Constituição Química do MTA PLUS[®] Hidratado.



No estudo de Formosa, B. Mallia, et al. (2013) a constituição química do MTA PLUS[®] também foi estudada em dois momentos, o primeiro quando o cimento se encontrava desidratado (gráfico 9) e o segundo momento quando este já se encontrava preparado. Estes autores corroboram o estudo de J Camilleri et al. (2013) ao verificarem que a constituição química do MTA PLUS[®] Desidratado é composta por: Silicato Tricálcico (C3S); Silicato Dicálcico (C2S) e Óxido de Bismuto (BO).

No primeiro momento:

Gráfico 9- Constituição Química do MTA PLUS[®] Desidratado segundo Formosa, B. Mallia, et al. (2013).



No segundo momento:

Após hidratação do MTA PLUS[®] e de acordo com o gráfico 10, a Constituição Química no primeiro dia é, Silicato Tricálcico (C3S); Silicato Dicálcico (C2S) e Óxido de Bismuto (BO), 28 dias após observamos uma diminuição destes constituintes e a presença de Hidróxido de Cálcio (CH). Os mesmos autores com recurso a um espectroscópio, verificam ainda a presença de Etringite (E) e Carbonato de Cálcio (CC) no 1º e no 28º dia (gráfico 11).

Gráfico 10- Constituição Química do MTA PLUS[®] segundo Formosa, B. Mallia, et al. (2013).

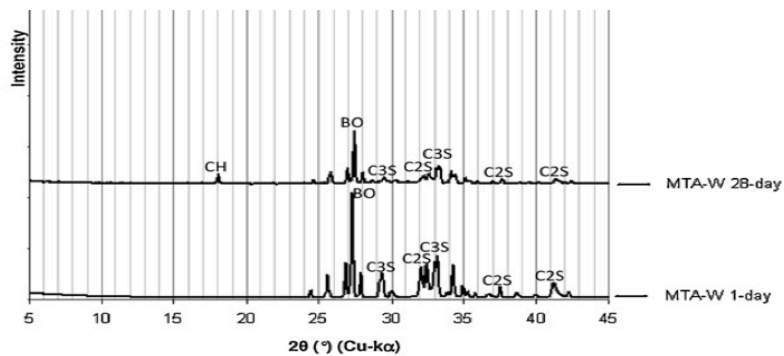
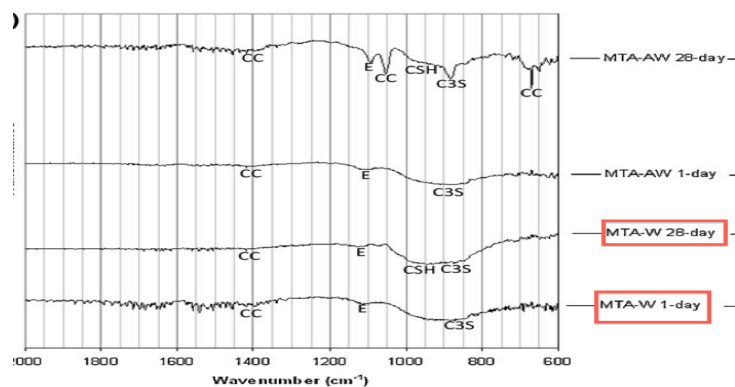


Gráfico 11- Constituição Cristalina do MTA PLUS[®], segundo Formosa, B. Mallia, et al. (2013).



pH

O pH do MTA PLUS[®] foi determinado no estudo de Formosa, B. Mallia, et al. (2013) em que as amostras foram submersas na solução Hank's balanced salt solution (HBSS; H6648, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA). Neste estudo, verificamos um aumento gradual do pH do MTA PLUS[®] desde o primeiro dia até ao da 28 (tabela 47).

Tabela 47- pH do MTA PLUS[®].

pH do MTA PLUS [®]				
1º dia	7º dia	14º dia	21º dia	28º dia
11.9	12.4	12.4	12.6	12.7

Libertação Iões Cálcio

A Libertação de Iões Cálcio do MTA PLUS[®] também foi determinada no estudo de Formosa, B. Mallia, et al. (2013) com as amostras a serem submersas na solução Hank's balanced salt solution (HBSS; H6648, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA). Verificamos de acordo com este estudo, que desde o primeiro dia até ao 28 dia, houve um aumento acentuado da Libertação de Iões Cálcio (tabela 48).

Tabela 48- Libertação Iões Cálcio.

Libertação de Iões Cálcio do MTA PLUS [®] (ppm)				
1º dia	7º dia	14º dia	21º dia	28º dia
171.7	390.3	635.0	694.7	841.3

Tempo de Presa

O Tempo de Presa do MTA PLUS[®] foi analisado por Formosa, B Mallia, et al. (2013) e J. Camilleri et al. (2013) com valores de 180 minutos, ($p < 0.05$) e 128 ± 8 minutos, ($p < 0.01$), respectivamente.

Força de Compressão

A Força de Compressão do MTA PLUS[®] foi também estudada e descrita no artigo de Formosa, B. Mallia, et al. (2013), com as amostras a serem submersas na solução Hank's balanced salt solution (HBSS; H6648, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA) e cujo resultado obtido foi de 45.59 (MPa), (p <0.001).

Solubilidade

A Solubilidade do MTA PLUS[®] foi também estudada e descrita no artigo de Formosa, B. Mallia, et al. (2013), tendo as amostras sido submersas na solução Hank's balanced salt solution (HBSS; H6648, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA) Chegou-se ao resultado de -0.113 ($\mu\text{g}/\text{mm}^3$), (p <0.001).

MTA BIO[®]

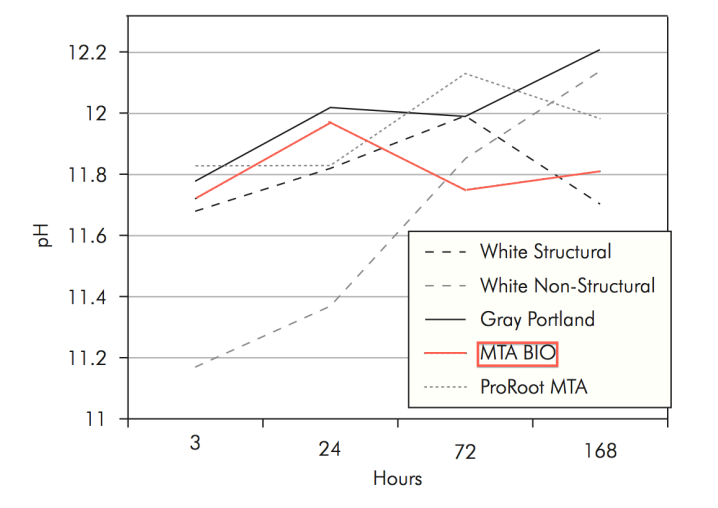
Constituição Química

A Constituição Química do MTA BIO[®] foi estudada e apresentada em dois estudos, realizados por Gonçalves & Viapiana (2010) e Lessa et al. (2010), sendo que os autores do primeiro estudo referem que a constituição do MTA BIO[®] é 80% de Cimento de Portland e 20% de Óxido de Bismuto, no segundo estudo os autores são mais precisos na composição e referem que é composto por: SiO₂ ; K₂O; Al₂O₃; Na₂O; Fe₂O₃; SO₃; Bi₂O₃; MgO; CaO e silicone cristalizado.

pH

Segundo Gonçalves & Viapiana (2010), o pH do MTA BIO[®] foi subindo desde as 3 horas até às 24 horas. Das 24 horas às 72 horas o valor diminuiu, tendo voltado a subir até às 168 horas, com o valor de 11.81 ± 0.11 ($\alpha=0.05$) (gráfico 12).

Gráfico 12- pH do MTA BIO[®].



Também no estudo de Vivan & Zapata (2010) analisou o pH do MTA BIO[®]. Verificou-se que desde as 3 horas até às 168 horas, o valor do pH do MTA BIO[®] foi diminuindo, até ao valor de 9.16 ± 0.47 (tabela 49).

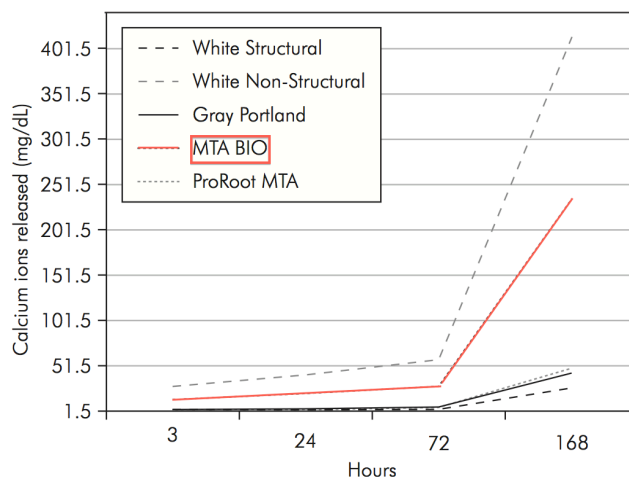
Tabela 49- pH do MTA BIO[®].

pH do MTA BIO [®]			
3h	24h	72h	168h
9.68 ± 1.03	9.22 ± 0.59	8.68 ± 0.52	9.16 ± 0.47

Libertação Iões Cálcio

Segundo Gonçalves & Viapiana (2010), a concentração de iões cálcio do MTA BIO[®] vai crescendo gradualmente das 3 horas até às 72 horas, momento em que este valor sobe de forma considerável até às 168 horas, atingindo o valor de 74.90 ± 106.9 (mg/dL), (p=a) (gráfico 13).

Gráfico 13- Libertação Iões Cálcio.



Também no estudo de Vivan & Zapata (2010) se calculou a Libertação de Iões Cálcio do MTA BIO[®]. Verificou-se uma descida da Libertação de Iões Cálcio das 3 horas até 72 horas, momento em que o valor aumenta até às 168 horas (tabela 50).

Tabela 50- Liberação de Iões Cálcio do MTA BIO[®].

Libertação de Iões Cálcio do MTA BIO [®] (mg/dL)			
3h	24h	72h	168h
9.68 ± 1.03	9.22 ± 0.59	8.68 ± 0.52	9.16 ± 0.47

Tempo de Presa

No artigo de Vivan & Zapata (2010), o Tempo de Presa do MTA BIO[®] foi determinado, sendo que o tempo de reação de presa inicial foi de 11.0 minutos e o final de 23.33 minutos.

Solubilidade

A Solubilidade do MTA BIO[®] foi determinada no estudo de Vivan & Zapata (2010), sendo o valor apresentado de 3.51, (p <0.05).

2-Discussão

A composição química do MTA vai influenciar o pH do meio, a quantidade de íons cálcio libertado assim como algumas propriedades físicas como o tempo de presa, a força de compressão e a solubilidade. Estas características influenciarão na escolha do MTA a utilizar no ato clínico. Segundo Schweickl and Schmalz (*cit. in* Lessa et al. 2010) a escolha do material a utilizar em determinado trabalho clínico deve partir sempre de uma análise inicial da sua composição química.

Relativamente ao CO₂, este encontra-se ausente em todos os cimentos, à exceção do MTA PLUS[®] pela necessidade de contribuir para a formação do Carbonato de Cálcio, deste MTA, na fase de hidratação Formosa, B. Mallia, et al. (2013).

O Trióxido de Enxofre (SO₃) está presente em todos os MTA's visto ser a base para a formação dos Silicatados de Cálcio. Segundo Dammaschke et al. (2005), o SO₃ prolonga o tempo de presa, protegendo o cimento da rápida hidratação.

O Óxido de Potássio (K₂O) está presente apenas no CP (Comin-Chiaramonti & Cavalleri 2009) e nos MTA BIO[®] e MTAB (Lessa et al. 2010). Segundo Dammaschke et al. (2005), altas concentrações de K₂O provocam uma diminuição das propriedades mecânicas do cimento, tais como a redução da força de compressão e aumento da solubilidade do material.

O Óxido Cálcio (CaO) está presente em todos os MTA's. Este elemento é fundamental para a formação dos compostos Silicatados Tricálcio e Dicálcio, compostos fundamentais para as propriedades químicas (libertação de íons cálcio e pH) e propriedades físicas (tempo de reação e resistência) (Dammaschke et al. 2005);(Santos & Moraes 2005);(Grazziotin-Soares 2013);(Hwang et al. 2011).

A Presença de Óxido de Magnésio (MgO) está patente em todos, excepto no MTA BIO[®], de acordo com o estudo de Lessa et al. (2010). O MTA ProRoot Grey[®] de acordo com L. Comin-Chiaramonti et al. (2009) é o MTA que apresenta maior

percentagem de MgO. De acordo com Lessa et al. (2010), o MgO tem uma ação retardadora do tempo de presa do MTA, o que levará a um maior amadurecimento da fase cristalina do material, levando a uma boa estabilidade. Por outro lado, Formosa, B Mallia, et al. (2013) afirmam que um tempo de presa alargado poderá afectar a estabilidade a longo prazo do MTA. Do mesmo ponto de vista partiram Vivan & Zapata (2010) quando no seu estudo afirmam que cimentos com um tempo de presa alargado, são mais suscetíveis à dissolução durante tratamentos cirúrgicos endodônticos.

Relativamente ao Óxido de Manganês (MnO), está ausente no MTA Angelus[®], presente no Grey ProRoot[®] e White ProRoot[®] de acordo com o estudo de Comin-Chiaramonti & Cavalleri (2009), ausente no MTAB[®] e no MTA BIO[®], segundo Lessa et al. (2010). Segundo Dammaschke et al. (2005), o WhiteProRoot[®] apresenta também este elemento mas numa percentagem mais reduzida. De acordo com este mesmo autor, o Óxido de Manganês, juntamente com outros iões como ferro e alumínio são responsáveis pela coloração do MTA. Também Hwang et al. (2011) afirma que o manganês é responsável pela coloração cinzenta do MTA.

O Óxido de Ferro (FeO), enquanto elemento que aumenta a reação de hidratação, aumentando a formação de compostos cristalinos Estrela et al. (2012), está ausente no MTA Angelus[®] de acordo com o estudo de Comin-Chiaramonti & Cavalleri (2009) e ausente no MTAB[®] e MTA BIO[®] segundo Lessa et al. (2010).

Quando ao Óxido Férrico (Fe₂O₃) está presente em todos os MTA's. Contrariamente o estudo de Belío-Reyes et al. (2009) demonstrou que o WhiteProRoot[®] não apresentava Fe₂O₃, visto que foi detectado a ausência da fase cristalina Ferrita (Ferroaluminato Tetracálcico). Como justificação desta ausência, o autor afirmou que a presença deste elemento iria contribuir para uma coloração acinzentada do cimento. De acordo com o estudo de Comin-Chiaramonti & Cavalleri (2009), o WhiteProRoot[®] foi o cimento que apresentou menor quantidade de Óxido Férrico.

O Óxido de Alumina (Al₂O₂) encontra-se presente em todos os MTA's estudados, podendo se afirmar que a fase Aluminato (CaCO₃)₃Al₂O₃ está presente em ambos os

MTAs. Segundo Belío-Reyes et al. (2009), esta fase ajuda a reduzir a temperatura durante a reação de presa do cimento. Black et al. (*cit. in* Akbari et al. 2013) mostraram que a fase Alumina aumenta a reação de hidratação, fazendo diminuir a distribuição de porosidade do MTA, resultando no aumento da força de compressão.

Relativamente ao Dióxido de Titânio (TiO_2), a maioria dos estudos analisados não foram esclarecedores quanto à sua presença ou ausência nos MTA's exceto no Grey ProRoot[®] e no White ProRoot[®] (Comin-Chiaramonti & Cavalleri 2009).

Segundo Dammaschke et al. (2005) os elementos Fe, Mn, Ti e Fe^+ conferem a coloração intensa ao cimento sendo uma desvantagem na aplicação deste cimento em dentes anteriores, quando a estrutura dentinária remanescente está reduzida.

Relativamente ao Dióxido de Sílica (SiO_2) este composto está presente na constituição de todos os MTA's como a base da formação dos Silicatados. Desta forma, tem um peso fundamental na estrutura física e propriedades químicas. Aliado a este, o CaO irá formar as fases cristalinas Alita (Silicato Tricálcico) e a Belita (Silicato Dicálcico). Segundo Belío-Reyes et al. (2009) a Alita é a responsável pela força mecânica primária do cimento enquanto que a Belita confere força a longo prazo.

Inserido na Constituição Química dos MTA's, os valores de pH resultam da presença de Cálcio na sua composição como o grande responsável pela alcalinidade do material (Lessa et al. 2010). Um pH elevado, com valores que rondem os 12,6 como observado no estudo de Estrela et al. (2012), irá provocar alterações da membrana citoplasmática das bactérias, levando assim à sua inativação. Desta forma, nesta revisão, verificamos que segundo vários estudos, os MTA's apresentam valores de pH diferentes.

O valor de pH mais baixo de todos analisados foi do MTA Angelus[®] segundo o estudo de Santos & Moraes (2005), tendo sido o pH inicial de 6,0 e às 360h de 7.72. Os autores consideram estatisticamente pouco significativo ($p > 0.05$) a correlação entre o pH, a liberação de íons cálcio e a condutividade elétrica.

Assim sendo o pH mais baixo pertence ao MTAB[®], em que nos estudos mais recentes o valor de pH às 3h seria de 7,75 e às 168h de 7.71 (Cavenago & Pereira 2014) e de 7.72 às 3h e 7.8 às 168h (Duarte 2012).

No mesmo sentido, o MTA Fillapex[®] apresenta valores de pH ligeiramente inferiores aos restantes. No estudo mais recente e com prospectiva temporal, no estudo de R. Vitti et al. (2013) às 3h apresentavam um pH de 9.19 e às 672h o pH marcado foi de 8.67. O ProRoot Grey[®] embora apresente valores médios de pH. No estudo de Vasconcelos et al. (2009), o valor de pH às 3h foi de 9.36 e às 168h foi de 8.16. Também o MTA BIO[®] apresentou valores aceitáveis, de acordo com Vivan & Zapata (2010).

O CP apresentou valores de pH elevados, mas como o CP só deve ser aplicado clinicamente após uma rigorosa purificação, não podemos considerá-lo clinicamente apto (Gonçalves & Viapiana 2010).

Desta forma, verificamos que os MTA's com pH mais elevados de acordo com os estudos analisados foram o MTA Angelus[®], em que no estudo de Gandolfi & Taddei (2013) apresenta um pH às 3h de 11.5 e às 672h de 9.3 e o WhiteProRoot[®] que segundo Gandolfi & Taddei (2013) apresenta um pH às 3h de 11.4 e às 672h de 8.9.

O MTA PLUS[®] como no estudo de Formosa, B. Mallia, et al. (2013) as suas amostras foram submersas numa solução HBSS, apresentava valores às 24h de 11.9 e às 672h de 12.7. Desta forma não podemos comparar aos restantes.

A libertação de Iões Cálcio também foi abordada nos estudos pelo seu papel indutor de pH alcalino e regenerador tecidual, fazendo com que seja uma característica química e biológica muito importante do MTA. Apesar desta vantagem, a sua libertação excessiva poderá comprometer a integridade física do cimento (Vivan & Zapata 2010) e provocar efeito citotóxico (Gandolfi et al. 2012). De acordo com esta teoria, Lessa et al. (2010) afirma que uma libertação exagerada de iões cálcio para o meio poderá provocar danos irreversíveis na cultura celular.

Segundo Kaul et al. (2013), a perda excessiva de Cálcio leva a um enfraquecimento do próprio cimento. Este mesmo autor, afirma que a liberação de Ca^{2+} em excesso leva a uma maior porosidade do material e influenciar negativamente a reação tecidual.

Segundo Maeno et al. 2005 (*cit. in* Gandolfi et al. 2012), uma concentração de íões cálcio de 2-4 mmol L⁻¹ (80-160 ppm) provocava a estimulação celular nos osteoblastos do rato, que uma concentração de 6-8 mmol L⁻¹ induzia a sua diferenciação e que concentrações > 10 mmol L⁻¹ provocava efeitos citotóxicos.

Desta forma ao analisar as concentrações dos MTA's abordados neste estudo, podemos observar que o MTA BIO[®] apresenta o valor mais elevado de liberação de íões cálcio de 9.68 às 3h e às 168h de 9.16 (Vivan & Zapata 2010). O MTA Fillapex[®] de acordo com R. Vitti et al. (2013) com valor às 3h de 7.97 e às 672h de 10. O WhiteProRoot[®], o ProRoot Grey[®] e o MTA Angelus[®] apresentam concentrações de liberação muito próximos, segundo os estudos de Vasconcelos et al. (2009), Gandolfi & Taddei (2013), ÇINAR et al. (2013) e Santos & Moraes (2005).

O MTA PLUS[®] no estudo de Formosa, B. Mallia, et al. (2013) numa tentativa de simular o comportamento de liberação de íões cálcio *in vivo*, submergiu as suas amostras numa solução HBSS, apresentando assim os valores de 171.7 às 24h e de 841.3 às 672h.

Estes resultados estão de acordo com Vivan & Zapata (2010) que mostraram que o MTA BIO[®] apresenta maior liberação de Ca^{2+} que ProRoot Grey[®] e o MTA Angelus[®].

O MTAB[®] apresenta valores aproximados de liberação de íões cálcio relativamente ao White ProRoot[®], ao ProRoot Grey[®] e ao MTA Angelus[®] segundo Vasconcelos et al. (2009). Contrariamente a este estudo, Vivan & Zapata (2010), Duarte (2012) e Cavenago & Pereira (2014) apresentam nos seus estudos valores mais baixo de liberação de íões cálcio. Formosa, B Mallia, et al. (2013) demonstram que a liberação de íões cálcio está relacionada com a formação de hidroxiapatite quando o

MTA entra em contacto com os fluidos orgânicos. Embora a libertação de iões cálcio seja extremamente importante para a formação de hidroxiapatite, esta libertação excessiva, leva à descalcificação do material, contribuindo para a perda de propriedades físicas e mecânicas do cimento Sarkar et al. (*cit in* J. Camilleri et al. 2013).

O tempo de presa foi analisado em todos os estudos desta revisão. Esta característica vai permitir que os seus componentes se reorganizem, o que levará a um aumento da sua resistência e durabilidade Gonçalves & Viapiana (2010).

O tempo de presa analisado por todos os autores, apesar de forma divergente, permitiu-nos verificar que o Grey ProRoot[®] e MTA Fillapex[®] apresentam o início de reação de presa mais elevado com 164 minutos e 136.3 minutos respectivamente; relativamente ao menor início de reação de presa verificou-se no MTAB[®] com 9.33 minutos. Relativamente ao maior valor final de reação de presa, verificamos que tanto o Grey ProRoot[®] e MTA Fillapex[®] apresentam 594 minutos e 273.3 respectivamente. O menor tempo de reação final de presa foi verificado no MTA BIO[®] e no MTAB[®] com 23 minutos e 23.3 minutos respectivamente.

O SO₃ interfere na reação de tempo de presa dos MTA's e que para Dammaschke et al. (2005), o mecanismo de hidratação dos Sulfatos (CaSO₄) é o principal factor pelo tempo de presa do MTA.

Segundo de Vasconcelos et al. (2009), como o MTA BIO[®] não apresenta Sulfato de Cálcio na sua constituição, o seu tempo de presa é mais reduzido.

Desta forma segundo Duarte (2012), materiais que apresentem maior tempo de presa são mais propícios à solubilidade mas por outro lado, o que apresentam menor tempo de presa possuem mais dificuldade em serem manuseados nas aplicações clínicas.

A força de Compressão é a capacidade do cimento resistir a cargas oclusais. Esta força é muito importante quando o MTA é utilizado como base ou forro e quando é utilizado para reparar perfurações de furca (Islam et al. 2006).

De acordo com a revisão bibliográfica, o ProRoot Grey[®] segundo Islam et al. (2006) apresenta ao 3º dia 50.43 e ao 28º dia 98.62 (MPa). Segundo Cutajar et al. (2011), o valor é de 67.64 (MPa), valor compreendido com o obtido no estudo de I. Islam.

O WhiteProRoot[®] segundo Islam et al. (2006) apresenta ao 3º dia 45.84 e ao 28º dia 86.02 (MPa). Segundo Porter et al. (2010), um valor de 27.0 (MPa) e segundo Hwang et al. (2011) no 1º dia 27.41, no 3º dia 43.65 e no 7º dia 30.77 (MPa).

Relativamente ao MTAB[®], Grazziotin-Soares et al. (2013) às 24h apresenta o valor de 39.9 e ao 7º dia 47.87 (MPa). No estudo de Akbari et al. (2013) cujos valores no 1º dia eram de 1.16 e após uma semana 2.19.

O MTA Fillapex[®] segundo Viapiana et al. (2014) apresentou às 24h 5.34 e ao 21º dia 3.10 (MPa). Segundo Borges et al. (2014), a baixa de força de compressão deste MTA após os 21 dias está relacionada com a sua alta solubilidade e que poderá estar correlacionada com a incorporação de resinas e pigmentos na sua constituição.

Quanto ao MTA PLUS[®], segundo Formosa, B Mallia, et al. (2013b), o valor foi de 45.59 (MPa). Relativamente ao MTA Angelus[®] e MTA BIO[®], devido à falta de estudos, não foi possível abordar a Força de Compressão. O CP apresentou valores de Força de Compressão dentro dos valores apresentados pelo ProRoot Grey[®] e WhiteProRoot[®] mas como o CP só deve ser aplicado clinicamente após uma rigorosa purificação, não podemos considera-lo clinicamente apto (Gonçalves & Viapiana 2010).

Segundo Porter et al. (2010), o aumento da Força de Compressão do cimento no tempo, significa que após aplicado clinicamente e mesmo em contacto com tecido contaminado por fluidos orgânicos, o cimento durante o seu tempo de presa está a ganhar resistência e estabilidade.

A Solubilidade de um material é a capacidade deste perder massa durante um período de tempo em que este se encontre em contacto com a água (Carvalho-Junior et al. (cit. in Viapiana et al. 2014)).

Desta forma nesta revisão, para o CP, de acordo com Islam et al. (2006) obtivemos 1,06%, o qual apenas foi referido para efeitos comparativos. Para o ProRoot Grey[®], segundo ÇINAR et al. (2013) às 168h a solubilidade era 1.01%. Segundo Cutajar et al. (2011) às 672h era de 8.48% e segundo Islam et al. (2006) era de 1.06%. O White ProRoot[®] segundo Islam et al. (2006) apresenta um valor de 1.28 %. O MTA Angelus[®] não é discutido quanto à Solubilidade por falta de estudos. Relativamente ao MTAB[®], segundo Cavenago & Pereira (2014) apresenta um valor de 1.62 %. Relativamente ao MTA Fillapex[®] segundo R. Vitti et al. (2013) ao 1º dia o valor era 9.31, ao 7º dia 15.16, ao 14º dia era 22.40 e ao 28º dia era de 25.55 %. Segundo Borges et al. (2014) com valores bastante diferentes demonstrou um valor de 2.88% e solubilidade, um valor alto face aos MTA's abordados anteriormente. A sua elevada solubilidade pode estar correlacionada com a sua baixa força de compressão (Borges et al. 2014).

Vivan & Zapata (2010) vêm demonstrar que o MTA BIO[®] também apresenta um valor de solubilidade elevado de 3.51 %.

Segundo Cavenago & Pereira (2014), uma solubilidade acima de 3% favorece a alta degradação do material e a formação de espaços vazios, o que irá contribuir para uma maior infiltração e perda do material.

Desta forma, materiais com alta solubilidade podem libertar resíduos irritantes e provocar colonização bacteriana a partir da falha entre cimento-dente (Flores et al. (cit. in Viapiana et al. (2014))).

A Radiopacidade é a característica física que permite o material ser avaliado e controlado radiograficamente (Borges et al. 2014).

O Óxido Bismuto (Bi_2O_3), elemento importante para um controlo após tratamento dentário, pela finalidade de conferir a radiopacidade ao MTA sem afectar negativamente as suas propriedades biológicas Oliveira et al. (2007), está ausente no Cimento de Portland Comin-Chiaramonti & Cavalleri (2009), revelando-se como uma

desvantagem, no entanto, incorpora todos os restantes MTA's analisados nesta revisão.

Desta forma, após analisar os artigos selecionados, apenas obtivemos resultados para o ProRoot Grey[®], White ProRoot[®] e MTA Fillapex[®].

De acordo com o estudo de Viapiana et al. (2014), o MTA Fillapex[®] é o MTA que apresenta maior radiopacidade, apresentando o valor de 7.11 ± 0.35 Al/mm, ($p < 0.05$). O White ProRoot[®] no estudo de Islam et al. (2006) apresentou um valor intermédio de radiopacidade de 6.74 Al/mm, ($p < 0.05$) e o ProRoot Grey[®], que segundo o estudo de I. Islam et al. (2006) apresentou o valor de 6.47 Al/mm de radiopacidade, ($p < 0.05$).

III-Conclusão

O MTA tem sido desenvolvido como material fundamental na regeneração de tecido mineralizado, reparador de perfurações e retro-obturações.

Desta forma a análise química é um fator de grande impacto nas suas propriedades químicas e físicas. A sua Composição Química e sua relação é extremamente importante para nós, Médicos Dentistas, no momento em que conseguimos perceber o seu comportamento no ato clínico a executar e ao longo do tempo.

O pH alcalino, é uma propriedade química extremamente importante no MTA, visto que é desta forma que este cimento apresenta ação biológica e bactericida. Após a análise dos vários MTA's, chegamos a conclusão que a marca comercial que apresenta valores mais elevados de pH é o MTA Angelus[®] e o White ProRoot[®] e o que apresenta valor inferior é o MTAB[®].

A Libertação de Iões Cálcio é o principal responsável pela indução de tecido mineralizado e pela capacidade regenerativa que o MTA apresenta. Uma libertação excessiva poderá comprometer a relação celular assim como também a integridade do próprio cimento. Após a análise de vários estudos, concluímos que a marca comercial que apresenta maior libertação de iões cálcio é o MTA BIO[®] e o que apresenta menor valor é o MTAB[®].

Relativamente ao tempo de presa, clinicamente é desejável um MTA que por um lado não tenha um tempo de presa demasiado curto, permitindo que a terapêutica termine sem que este endureça rapidamente, mas por outro lado, também não se deseja um MTA com um tempo de presa demasiado extenso, que poderá colocar a sua integridade física em causa. Desta forma, após análise de vários estudos, concluímos que a marca comercial que tem menor tempo de presa é o MTA BIO[®] e o que apresenta maior tempo é o MTA Fillapex[®].

A Força de Compressão é um factor físico importante, visto que é a propriedade que confere integridade, estabilidade e capacidade de resistir a forças oclusais. Em

determinados atos clínicos pode ser uma mais-valia, como no caso de bases ou forros cavitários. Desta forma após a análise de vários artigos disponíveis na literatura, concluímos que a marca comercial que apresenta maior resistência às forças compressivas é o MTA ProRoot Grey[®] e o que apresenta menor capacidade é o MTA Fillapex[®].

A Solubilidade também é um fator físico extremamente importante no MTA. Se este valor for demasiado elevado, levará à desintegração do material e infiltração bacteriológica da área condicionada, podendo levar ao insucesso clínico. Após a avaliação de vários estudos, concluímos que a marca comercial que apresenta maior Solubilidade é o MTA Fillapex[®] e o que apresenta menor percentagem é o MTA ProRoot Grey[®].

A radiopacidade é assim um factor físico fundamental do MTA, permitindo ao clínico verificar a sua aplicação após tratamento, assim como o seu controlo e manutenção. Após a avaliação dos estudos seleccionados, verificamos que o MTA Fillapex[®] é o MTA mais radiopaco e o ProRoot Grey[®] o MTA que apresenta valor de radiopacidade inferior.

As variações de resultados encontrados na literatura podem estar relacionadas com os seguintes fatores: rácio cimento/água; forma e tamanho das partículas; manipulação do cimento; força de espatulação; pressão aplicada; temperatura de cura e divergência nos equipamentos e protocolos que permitam a medição e avaliação do mesmo MTA comercial.

Para a elaboração desta revisão bibliográfica, consideramos como limitação a falta de estudos que avaliassem a relação dos elementos químicos do MTA e os tecidos orgânicos, como no caso da avaliação da Toxicidade do Óxido de Bismuto. Consideramos serem necessários mais estudos que avaliem as propriedades físicas do MTA Angelus[®], e estudos sobre constituição química do MTAB[®], MTA Fillapex[®], MTA PLUS[®] e MTA BIO[®].

A produção de mais evidência científica nesta área, iria permitir correlacionar as propriedades químicas e físicas das principais marcas comerciais de MTA's disponíveis no mercado, permitindo aos Médicos Dentistas, após uma cuidada análise, selecionar o MTA mais adequado ao ato clínico e que traga mais benefícios para o paciente.

Referências Bibliográficas

Akbari, M. et al., 2013. Effect of Nano Silica on Setting Time and Physical Properties of Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics*, 39(11), pp.1448–1451.

Antunes Bortoluzzi, E. et al., 2006. The use of a setting accelerator and its effect on pH and calcium ion release of mineral trioxide aggregate and white Portland cement. *Journal of Endodontics*, 32(12), pp.1194–7.

Belfo-Reyes, I., Bucio, L. & Cruz-Chavez, E., 2009. Phase composition of ProRoot mineral trioxide aggregate by X-ray powder diffraction. *Journal of Endodontics*, 35(6), pp.875–8.

Borges, A.H. et al., 2014. Physicochemical Properties and Surfaces Morphologies Evaluation of MTA FillApex and AH Plus. *TheScientificWorldJournal*, 2014, p.589732.

Camilleri, J., 2010. Evaluation of the physical properties of an endodontic Portland cement incorporating alternative radiopacifiers used as root-end filling material. *International Endodontic Journal*, 43(3), pp.231–240.

Camilleri, J., Formosa, L. & Damidot, D., 2013. The setting characteristics of MTA Plus in different environmental conditions. *International Endodontic Journal*, 46(9), pp.831–40.

Camilleri, J., Sorrentino, F. & Damidot, D., 2013. Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA Angelus. *Dental Materials*, 29(5), pp.580–593.

Cavenago, B. & Pereira, T., 2014. Influence of powder-to-water ratio on radiopacity, setting time, pH, calcium ion release and a micro-CT volumetric solubility of white mineral trioxide aggregate. *International Endodontic Journal*, 47(2), pp.120–126.

Çinar, Ç. et al., 2013. The effects of incorporation of silver-zeolite on selected properties of mineral trioxide aggregate. *Dental Materials Journal*, 32(6), pp.872–6.

Comin-Chiaramonti, L. & Cavalleri, G., 2009. Crystallochemical comparison between Portland cements and mineral trioxide aggregate (MTA). *Journal of Applied Biomaterials & Biomechanics*, 7(3), pp.171–178.

Cutajar, a. et al., 2011. Replacement of radiopacifier in mineral trioxide aggregate; characterization and determination of physical properties. *Dental Materials*, 27(9), pp.879–891.

Dammaschke, T. et al., 2005. Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. *Dental Materials*, 21(8), pp.731–738.

Duarte, M., 2012. Evaluation of the propylene glycol association on some physical and chemical properties of mineral trioxide aggregate. *International Endodontic Journal*, 45(6), pp.565–570.

Estrela, C. et al., 2012. Characterization of Calcium Oxide in Root Perforation Sealer Materials. *Brazilian Dental Journal*, 23, pp.539–546.

Formosa, L., Mallia, B. & Camilleri, J., 2013a. Mineral trioxide aggregate with anti-washout gel—Properties and microstructure. *Dental Materials*, 29(3), pp.294–306.

Formosa, L., Mallia, B. & Camilleri, J., 2013. The chemical properties of light-and chemical-curing composites with mineral trioxide aggregate filler. *Dental Materials*, 29(2), pp.e11–9.

Gandolfi, M. & Taddei, P., 2013. Biointeractivity-related versus chemi/physisorption-related apatite precursor-forming ability of current root end filling materials. *Journal of Biomedical Materials Research*, 101(7), pp.1107–1123.

Gandolfi, M.G., Siboni, F. & Prati, C., 2012. Chemical-physical properties of TheraCal, a novel light-curable MTA-like material for pulp capping. *International Endodontic Journal*, 45(6), pp.571–579.

Gonçalves, J. & Viapiana, R., 2010. Evaluation of physico-chemical properties of Portland cements and MTA. *Brazilian Oral Research*, 24(3), pp.277–283.

- Grazziotin-Soares, R. et al., 2013. Effect of bismuth oxide on white mineral trioxide aggregate: Chemical characterization and physical properties. *International Endodontic Journal*, 47(6), pp.520–33.
- Han, L., Okiji, T. & Okawa, S., 2010. Morphological and chemical analysis of different precipitates on mineral trioxide aggregate immersed in different fluids. *Dental Materials Journal*, 29(5), pp.512–517.
- Huang, T.H. et al., 2005. Biocompatibility of human osteosarcoma cells to root end filling materials. *Journal of biomedical materials research. Part B, Applied Biomaterials*, 72(1), pp.140–5.
- Hwang, Y. et al., 2011. Chemical constitution, physical properties, and biocompatibility of experimentally manufactured Portland cement. *Journal of Endodontics*, 37(1), pp.58–62.
- Ingle, J. (1979). *Endodontics*. Rio de Janeiro, Editora Interamérica Ltda.
- Islam, I., Chng, H.K. & Yap, A.J., 2006. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and Portland cement. *Journal of Endodontics*, 32(3), pp.193–7.
- Kaul, R. et al., 2013. Evaluation of biological, physical and chemical properties of mineral trioxide aggregate mixed with 4-META/MMA-TBB. *Indian Journal of Dental Research*, 24(4), pp.418–22.
- Kayahan, M., 2009. Effect of acid-etching procedure on selected physical properties of mineral trioxide aggregate. *International Endodontic Journal*, 42(11), pp.1004–1014.
- Lee, S. et al., 2013. Characteristics of novel root-end filling material using epoxy resin and Portland cement. *Clinical Oral Investigations*, 17(3), pp.1009–15.
- Lessa, F.C.R. et al., 2010. Cytotoxic effects of White-MTA and MTA-Bio cements on odontoblast-like cells (MDPC-23). *Brazilian Dental Journal*, 21(1), pp.24–31.
- Oliveira, M.G. De et al., 2007. Comparative chemical study of MTA and Portland cements. *Brazilian Dental Journal*, 18(1), pp.3–7.

Porter, M. et al., 2010. Physical and chemical properties of new-generation endodontic materials. *Journal of Endodontics*, 36(3), pp.524–8.

Saghiri, M. & Garcia-Godoy, F., 2013. Effects of various mixing techniques on physical properties of White Mineral Trioxide Aggregate. *Dental Traumatology*, 30(3), pp.240–5.

Santos, A. & Moraes, J., 2005. Physico-chemical properties of MTA and a novel experimental cement. *International Endodontic Journal*, 38(7), pp.443–447.

Srinivasan, V., 2009. Mineral trioxide aggregate in paediatric dentistry. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 19(1), pp.34–47.

De Vasconcelos, B.C. et al., 2009. Evaluation of pH and calcium ion release of new root-end filling materials. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 108(1), pp.135–9.

Viapiana, R. et al., 2014. Physicochemical and mechanical properties of zirconium oxide and niobium oxide modified Portland cement-based experimental endodontic sealers. *International Endodontic Journal*, 47(5), pp.437–48.

Vitti, R., Prati, C. & Sinhoreti, M., 2013. Chemical–physical properties of experimental root canal sealers based on butyl ethylene glycol disalicylate and MTA. *Dental Materials*, 29(12), pp.1287–1294.

Vitti, R.P. et al., 2013. Physical properties of MTA Fillapex sealer. *Journal of Endodontics*, 39(7), pp.915–8.

Vivan, R. & Zapata, R., 2010. Evaluation of the physical and chemical properties of two commercial and three experimental root-end filling materials. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics*, 110(2), pp.250–256.