

INFLUÊNCIA DE ADITIVOS RETARDADORES DE PEGA NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM CIMENTO DE FOSFATO DE MAGNÉSIO.

Jorge Henrique Piva (1), Patrícia Montagna Allem (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)jhpiva@gmail.com, (2)patricia.allem@hotmail.com

RESUMO

Os cimentos de fosfato de magnésio são formados a partir da reação entre o óxido de magnésio e fosfatos solúveis, como o de amônia ou potássio, se solidificam a temperatura ambiente e sua reação de pega se desenvolve em tempos relativamente curtos quando comparados ao cimento portland, adquirindo elevada resistência mecânica em poucas horas de cura. A velocidade da reação exotérmica é um fator determinante no preparo dessas composições, portanto o uso de algum tipo de retardador de pega é necessário para controle da reação e permitir tempo de manuseio da mistura para aplicação. Nesse estudo os efeitos de aditivos retardadores de pega foram investigados em argamassas de fosfato de magnésio. O ligante usado foi obtido a partir da mistura de monofosfato de potássio e óxido de magnésio, como retardadores de pega foram utilizados ácido bórico, tripolifosfato de sódio e resina poliuretana. As principais características analisadas foram o tempo de pega e o desenvolvimento da resistência mecânica com o tempo de cura. Os principais resultados encontrados mostraram que o prolongamento do tempo de pega reduziu a resistência nos primeiros tempos de cura, mantendo-se no mesmo nível para cura aos 28 dias. Adições de ácido bórico apresentaram eficiência como retardante de pega elevando-a de 5 para 34 min. O uso de tripolifosfato de sódio não se mostrou eficiente, pois para maiores concentrações o efeito foi inverso aos demais aditivos, prejudicando a resistência mecânica.

Palavras chaves: Cimento de Fosfato de Magnésio, Tempo de Pega, Resistência Mecânica.

1. INTRODUÇÃO

O cimento é um dos mais importantes materiais empregados na construção civil. São materiais com propriedades aglomerantes largamente utilizados, principalmente pela facilidade de manipulação e vantagens que apresentam como resistência, durabilidade e economia. Na literatura podemos encontrar a definição de cimento como um tipo de ligante obtido pela ligação química dos seus componentes, resultando em um corpo endurecido que adquire resistência suficiente para sua

finalidade [1]. Baseado nesse conceito, três tipos de cimentos podem ser identificados:

“Cimentos Hidráulicos; como o cimento Portland e cimentos de alumina, que apresentam reação (pega) por hidratação quando reagem com a água; Cimentos por Precipitação, que têm reação inicial devido às reações de trocas de íons. O terceiro tipo de cimento é um material desenvolvido por meio de reações entre um componente ácido e outro básico sendo, portanto, chamado de cimento Ácido-Base” [2].

A origem dos cimentos ácido-base está no desenvolvimento de cimentos para fins odontológicos onde a principal propriedade desejada é a alta resistência inicial [3]. Os principais compostos para obtenção dos cimentos ácido-base, predominam um fosfato ácido (como o de alumínio, amônio ou potássio) e um óxido metálico (como o de magnésio, cálcio ou zinco). Quando um óxido metálico é adicionado a uma solução ácida fosfática, ele é dissolvido e libera cátions que reagem com ânions fosfáticos formando um gel. Este gel posteriormente se cristaliza e se consolida em um corpo cerâmico [4].

1.1 CERÂMICAS LIGADAS DE FOSFATO (CBPC)

Dentre os cimentos ácido-básicos estão os compostos de fosfato, estes cimentos pertencem à família das chamadas “chemically bonded phosphate ceramics” (CBPC’s), ou Cerâmicas de Fosfato ligadas Quimicamente [5].

Em comparação com os cimentos tradicionais possuem tempos de pega ultrarrápidos e são materiais de alta dureza. As aplicações estudadas até o momento para esse material são: armazenamento de resíduos perigosos de forma não lixiviável; produtos de construção tais como tijolos, blocos, telhas e pisos, produtos estruturais de alta resistência mecânica, reparo rápido de estruturas danificadas [2, 6]. Argamassas dessa natureza também tem aplicação na recuperação de rodovias e pistas de aeroportos em que se necessita de alta resistência em pequenos períodos de cura, como pode ser visto de forma ilustrativa na Figura 01.

Figura 01: Fotografias de argamassas de pega rápida.



Fonte: www.velvetop.com [7]



Fonte: www.ceratechinc.com [8]

Os cimentos de fosfato de magnésio são citados na literatura pela sua alta resistência inicial, da ordem de 60 Mpa com sete dias de cura [9]. A pesquisa sobre ligantes alternativos ao cimento Portland tem sido explorada pela comunidade científica, principalmente no aspecto de grande impacto ambiental desse ligante, em termos de emissões de carbono, motivo de grande preocupação, no que diz respeito às alterações climáticas do nosso planeta e também implicam em penalizações para os países onde são emitidas [10]. Nesse aspecto um produto que apresente melhor eficiência na relação resistência/peso deve ser considerado como uma contribuição para redução das emissões de gases atmosféricos (CO₂). Ainda como produto com apelo ambiental, os cimentos de fosfato são opções para utilização de resíduos de materiais refratários, provenientes de fornos de siderúrgicas e fundições, estes resíduos apresentam em sua composição óxido de magnésio, o que torna possível sua incorporação na composição de ligantes à base de Fosfato de Magnésio [4]

1.2 MECANISMO DE PEGA

Um cimento sendo hidratado constitui-se de uma massa plástica que, após certo tempo, começa perder essa plasticidade chegando ao que se denomina de início de pega. O início da pega corresponde a um aumento brusco da consistência da pasta

e uma elevação da sua temperatura. O fim da pega ocorre quando a pasta cessa de ser deformável para pequenas cargas e se torna rígido.

A reação de um cimento ácido-básico é bastante rápida, depende do grau de dissociação do óxido pela solução ácida de fosfato. Componentes básicos com alto grau de dissociação produzirão misturas com tempo de pega muito curtos, o que dificulta a formação de fases cristalinas no material, e conseqüentemente ocorre uma piora no desempenho das propriedades mecânicas [4].

A limitação de baixos tempos de pega é uma característica nesse tipo de material, sendo objeto de diversas pesquisas que incluem aditivos minoritários como agentes retardadores da reação, entre eles:

1) cloreto de sódio; 2) fluoretos, sílicofluoretos e os fluoretos ácidos de metais alcalinos e alcalinos terrosos; 3) ácido bórico e boretos ácidos de metais alcalinos e alcalinos terrosos e de amônio e 4) os ésteres de ácido bórico [4].

1.3 RETARDANTES DE PEGA

- Ácido Bórico

Em 1978, pesquisadores (Stierli et al apud [2]) patentearam um método para o controle das características de pega de CBPC's usando componentes oxi-boro solúveis, tais como ácido bórico (H_3BO_3) ou bórax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) e observaram que adições sucessivas de cada componente geram um aumento acumulativo no tempo de pega. O ácido bórico reage com o fosfato ácido e forma uma cobertura temporária de lunebergita ($Mg_3B_2(PO_4)_2(OH)6 \cdot 6H_2O$), na superfície da partícula do óxido, o que dificulta (retarda) a dissolução do óxido de magnésio em solução [2].

Embora o uso de boratos alongue o tempo de pega, quantidades excessivas podem reduzir a resistência mecânica [11]

- Tripolifosfato de Sódio (TPF)

O tripolifosfato de sódio é amplamente usado como dispersante de suspensões em processos cerâmicos, devido à sua alcalinidade há um efeito direto no controle do pH. Em estudo recente avaliou-se sua adição, combinado com borax como retardante de pega, em cimentos de fosfato de amônio e magnésio, onde adições de

até 2,5 % produziram aumento no tempo de pega além de melhorar a trabalhabilidade da mistura [12]. RIBEIRO [2], afirma que a incorporação do tripolifosfato de sódio ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) em argamassas de fosfato de magnésio, produz um efeito benéfico, como um retardante, aumentando o tempo de reação e reduzindo a taxa de consumo de fosfato.

- Adições de Polímeros

A adição de polímeros em argamassas usadas para reparos, colantes, chapiscos de alto desempenho e acabamento de fachadas é prática comum no setor de construção civil, visto que auxiliam no desempenho tanto no estado fresco quanto endurecido. Essa prática já vem sendo utilizada desde a década de 1920, quando argamassas e concretos eram preparados utilizando-se látex natural de borracha [13]. CARBONE et al [14] constataram que a utilização de látex polimérico retarda a hidratação do cimento e aumenta o teor de ar incorporado na matriz cimentícia devido à presença de tensoativos na composição, fato que afeta as propriedades no estado endurecido. Outras pesquisas de aplicação de polímeros na modificação de ligantes, tanto na área da construção civil quanto em diversas outras aplicações, como em cimentos para poços de Petróleo, GURGEL [15], verificou que o látex não iônico adicionado em pastas geopoliméricas usadas em poços de petróleo, influencia nas propriedades tais como desempenho mecânico, aumento do tempo de bombeabilidade e modificação da viscosidade, tornando-o um aditivo promissor.

Desta forma, considerando que a classe dos cimentos de fosfato de magnésio ainda seja pouco explorada, a busca por uma melhor adequação de suas características e o entendimento do efeito de aditivos nas propriedades finais, representa uma contribuição de grande importância para as áreas de desenvolvimento de novas tecnologias e novos materiais. Os objetivos deste trabalho são, estudar os efeitos da adição de componentes retardadores de pega, nas características de argamassas com cimento de fosfato de magnésio.

2. MATERIAIS

Os materiais utilizados neste trabalho foram matérias primas de pureza comercial, como: óxido de magnésio (MgO), monofosfato de potássio (KH_2PO_4), tripolifosfato de sódio (TPF), ácido bórico, resina poliuretana e areia. As características dos materiais utilizados é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Características das matérias primas utilizadas.

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS
Óxido de Magnésio (M-10)	$MgO >94 \%$, #325 - Mineração Magnesita S.A.
MonoFosfato de Potássio	KH_2PO_4 , 52 % Fosfato, < #250 - Eletroquímica Jaraguá S.A
Tripolifosfato de Sódio	$Na_5P_3O_{10}$, 54 % P_2O_5 - Esmalglass do Brasil Ltda
Ácido Bórico	$H_3BO_3 > 99,0 \%$ - Esmalglass do Brasil Ltda
Resina Poliuretana	Dispersão aquosa não-iônica -Tanquímica Ltda.
Areia	SiO_2 , areia de Quartzo, MF 2,2 – Iparque/L.M.C.C

Fonte: Do autor

3. METODOLOGIA

3.1 Obtenção das Composições de Argamassas

Com as matérias primas descritas anteriormente e mostradas na Figura 02, inicialmente preparou-se argamassas de cimento de fosfato magnésio para avaliar os resultados quanto ao tempo de Início e fim de pega e resistência à compressão axial, sem adição de retardadores. As variações de traço (relação entre os componentes da mistura em peso) basearam-se em proporções citadas na literatura, e as relações de óxido de magnésio e fosfato de potássio ($MgO : KH_2PO_4$) foram assim definidas; 40 : 60 , 50 : 50 e 60 : 40. Após as argamassas foram preparadas adicionando a cada composição de ligante uma proporção de areia de 1:2.

Na segunda etapa do trabalho, selecionou-se a composição de argamassa com melhor desempenho em relação às propriedades analisadas na Etapa 01. A partir desta composição foi avaliado adições dos retardadores de pega (ácido bórico, tripolifosfato de sódio e uma resina poliuretana). Para essas composições foram realizados ensaios de tempo de pega, pHmetria, resistência à compressão e à flexão.

Figura 02: Matérias Primas utilizadas nas misturas



Óxido de Magnésio



Fosfato de Potássio



Areia



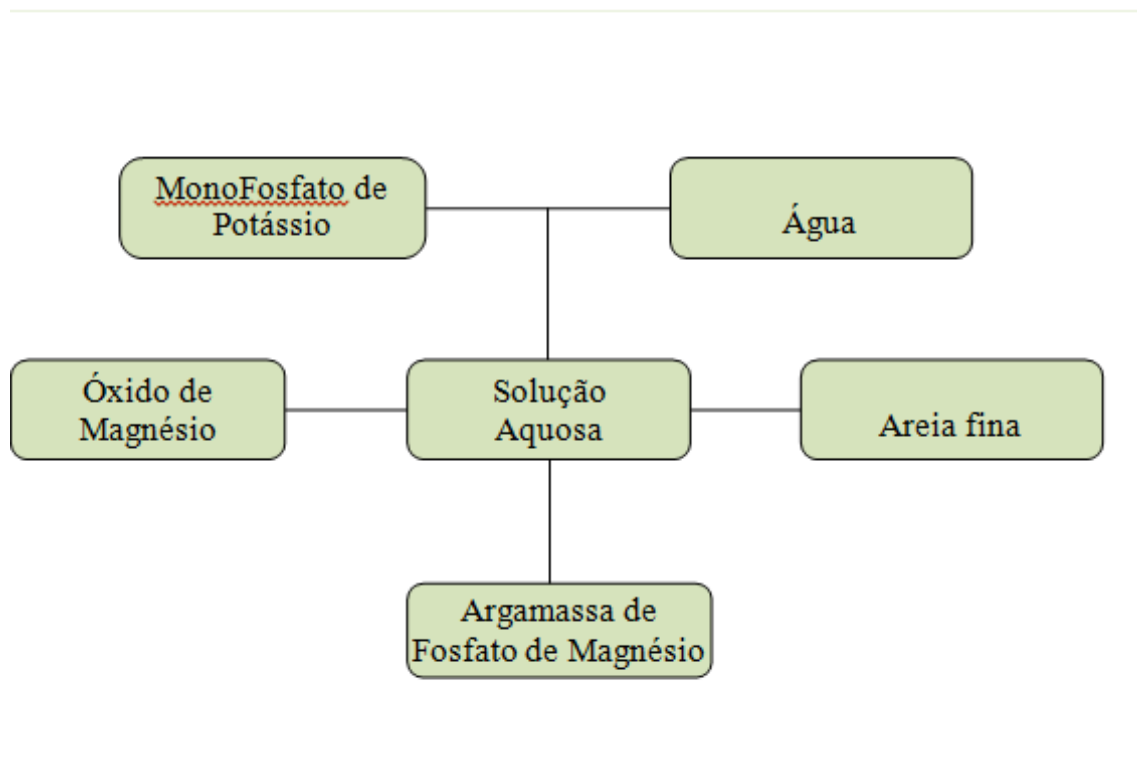
Água

Fonte: Do autor

3.2 Preparo e Moldagem das Composições.

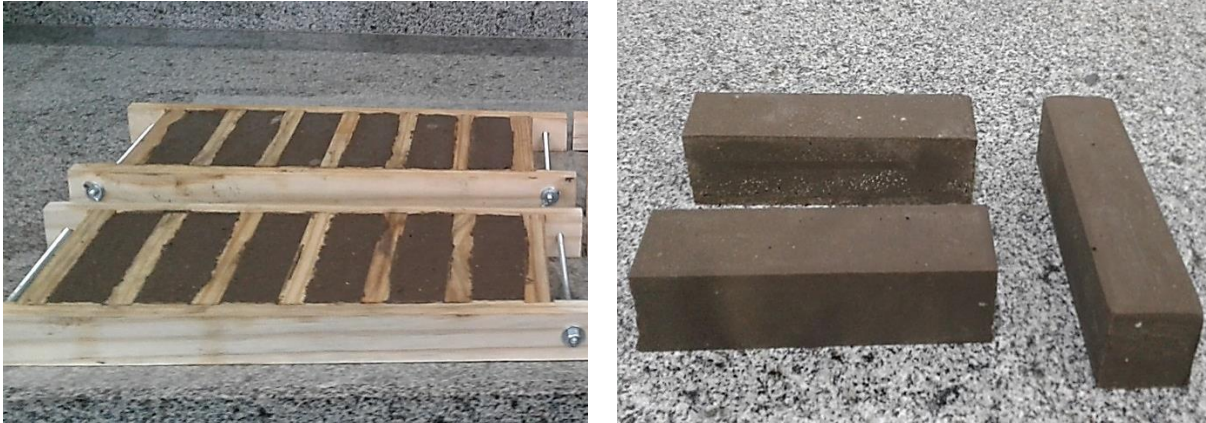
As matérias primas foram misturadas manualmente, conforme demonstrado no fluxograma da Figura 03, após a mistura foi vertida em moldes prismáticos de 40 x 40 x 160 mm (Figura 4). Foram utilizados moldes de madeira devido à elevada aderência do cimento de fosfato de magnésio a metais, também foi aplicada uma fina camada de óleo mineral nas faces internas do molde. A cura foi ao ar, em temperatura de 22 ± 3 °C. Para execução do ensaio de resistência mecânica, na primeira etapa adotou-se cura de 03 h e 07 dias e na segunda etapa foram adotados 03 tempos de cura, 03 h, 07 dias e 28 dias.

Figura 03: Fluxograma da sequência de preparo da argamassa.



Fonte: Do autor

Figura 04 : Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Do autor

3.3 Determinação do Tempo de Pega e pH.

O tempo de pega das argamassas foi determinado pelo método de Vicat, segundo a NBR NM 65 [16] e ilustrado na Figura 05. As medidas de pH foram obtidas com phmetro de bancada QUIMIS 0400AS.

Figura 05: Ensaio para determinação do tempo de pega



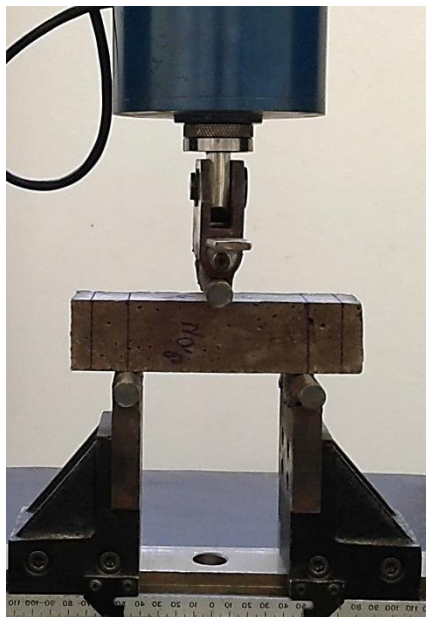
Fonte: Do autor

3.4 Determinação da Resistência à Flexão e à Compressão.

A Resistência à Flexão e à Compressão foi determinada com o equipamento de Ensaio Mecânicos EMIC DL 10000E DL 30000 de acordo com a norma brasileira NBR 13279 [17] - Procedimento para determinação da resistência à Tração na flexão e à Compressão de Argamassas. Para o ensaio de resistência à flexão foram utilizados 03 corpos de prova prismáticos com 40 x 40 x 160 mm.

Para a determinação da resistência à compressão foram utilizadas as metades dos corpos-de prova do ensaio de flexão, no total de 03. Ambos os ensaios foram realizados para os corpos de prova com 03 h, 07 dias e 28 dias de idade. Esses ensaios estão ilustrados na Figura 06.

Figura 06: Ensaio de resistência à tração na flexão (a), ensaio de resistência à compressão (b).



(a)



(b)

Fonte: Do autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Definição da Composição

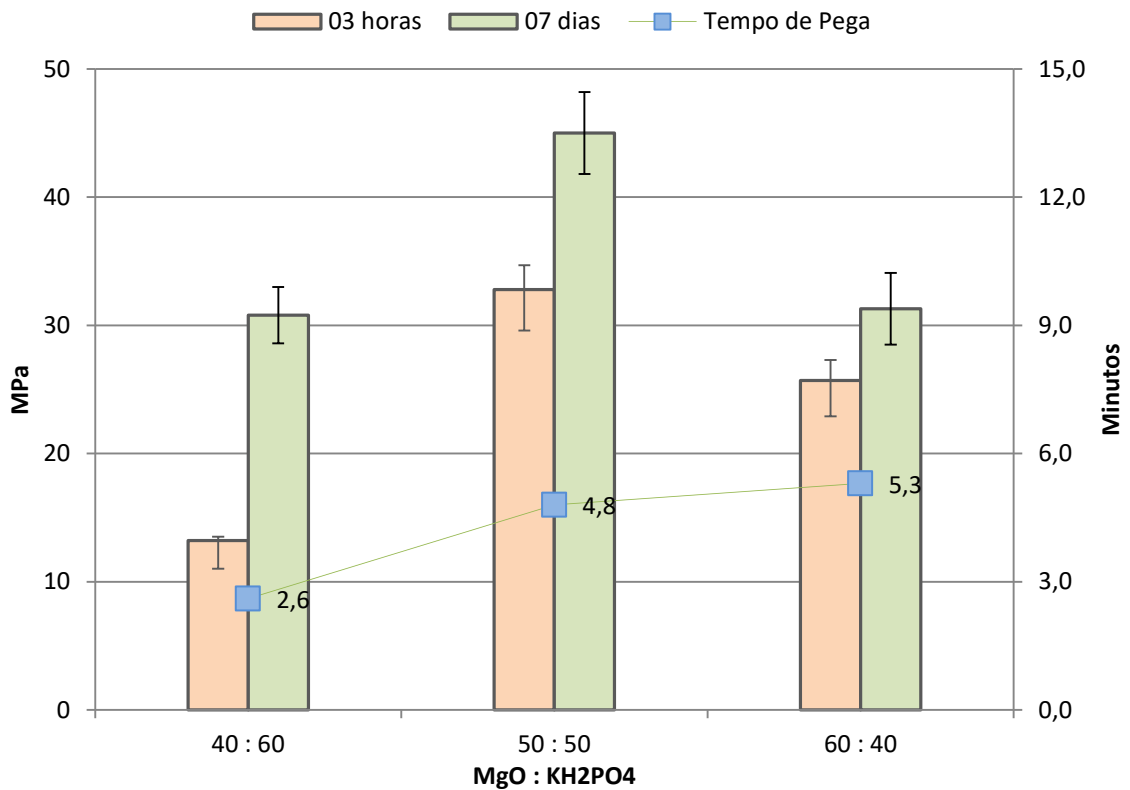
Os resultados da Etapa 01 apresentados na Tabela 2, mostraram que o tempo de pega é reduzido à medida que aumenta o teor de MgO. A resistência à compressão alcançou valores acima de 25 MPa após 03 h para composições com maior quantidade de MgO (Figura 07). Esse comportamento é explicado pelo fato de que as proporções entre os componentes da reação (MgO e KH_2PO_4) estão próximas da relação estequiométrica ideal para formação da estrutura, ou seja, sem excesso ou carência de um dos componentes. Essas proporções são citadas por YANG et al [9], na qual define a relação molar ótima entre KH_2PO_4 /MgO de cerca de $1 : 4 \pm 1 : 5$ (01 mol de MgO=40 g : 01 mol de KH_2PO_4 =136 g). Entretanto, observou-se nessa etapa que o controle da reação através da adição de um retardador de pega é importante, caso contrário conduzem a tempos de pega muito curtos, dificultando a manipulação do material.

Tabela 2: Resultados de tempo de pega e resistência à compressão

Componentes (g)		Composições			
		1	2	3	
MgO M-10		60,0	50,0	40,0	
Fosfato de Potássio		40,0	50,0	60,0	
Areia		1:2	1:2	1:2	
Água		32,0	31,0	30,0	
Tempo de Pega (min)	Início	2,3	4,2	4,3	
	Fim	2,6	4,8	5,3	
Res. À Compressão (MPa)	3 horas	Méd.	25,7	32,8	13,2
		σ_{std}	1,6	1,9	0,31
	7 dias	Méd.	31,3	45,5	30,8
		σ_{std}	2,8	3,2	2,2

Fonte: Do autor.

Figura 07: Variação da Resistência à Compressão para diferentes composições.



Fonte: Do autor.

2ª ETAPA:

De acordo com os resultados apresentados na etapa anterior, definiu-se a composição nº 2 para avaliar o comportamento utilizando os retardadores de pega. Foram avaliados 03 materiais, Ácido Bórico, Tripolifosfato de sódio (TPF) e Resina Poliuretana, os resultados são mostrados na Tabela 03.

Tabela 3: Resultados para a composição nº 2 com aditivos.

Componentes (g)		Composições										
		2-ref	2A1	2A2	2A3	2S1	2S2	2S3	2L1	2L2	2L3	
MgO M-10		50	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	
Fosfato de Potássio		50	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	
Areia		1:2	1:2	1:2	1:2	2:1	2:1	2:1	1:2	1:2	1:2	
Água		31	31	31	31	31	31	31	30	27	24	
Ácido Bórico (%)			0,5	1,0	1,5							
Tripolifosfato de Sódio (%)						0,3	0,6	0,9				
Latex Pu (%)									1,0	3,0	5,0	
Tempo de Pega (min)	Início	4,2	12,1	22,5	32,0	3,6	3,5	3,1	5,0	5,8	9,5	
	Fim	4,8	12,8	23,8	34,0	4,0	3,8	3,5	5,5	6,7	11,5	
Res. À Compressão (MPa)	3 horas	Méd.	32,8	28,0	14,7	8,3	33,3	32,4	22,6	25,0	24,0	29,1
		σ_{std}	2,0	2,0	1,5	1,4	3,2	2,0	2,1	2,4	1,5	1,4
	7 dias	Méd.	41,0	35,4	35,0	38,2	37,4	34,5	32,5	25,6	26,9	34,0
		σ_{std}	2,3	3,2	4,2	2,6	4,9	4,0	4,5	1,7	2,3	0,2
	28 dias	Méd.	45,0	43,7	45,7	45,2	47,0	35,3	35,3	29,0	33,1	33,5
		σ_{std}	1,2	2,0	2,0	2,2	2,7	3,6	3,7	3,1	2,1	1,2
Res. À Tração na Flexão (MPa)	3 horas	Méd.	5,9	5,1	4,4	4,0	6,9	6,0	5,8	3,5	4,3	4,5
		σ_{std}	0,5	0,3	0,1	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,2
	7 dias	Méd.	6,5	6,1	5,1	4,8	7,9	6,7	7,8	3,4	5,0	6,4
		σ_{std}	0,7	0,4	0,4	1,2	0,9	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
	28 dias	Méd.	8,0	6,9	5,9	6,1	7,7	7,0	7,3	4,0	5,7	8,1
		σ_{std}	0,6	0,6	0,3	0,3	0,5	1,1	0,7	0,2	0,4	0,2

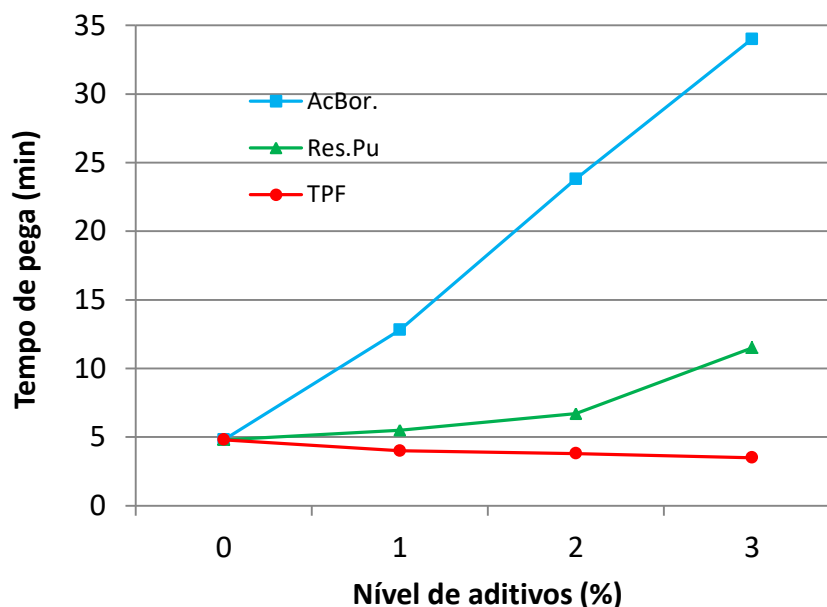
Fonte: Do autor.

Efeitos sobre o Tempo de Pega

Observa-se que o ácido bórico atua de forma eficiente na reação de pega, elevando o tempo de reação de aproximadamente 5 para 34 min (Figura 08). Esse comportamento é descrito na literatura devendo-se a formação de uma estrutura temporária que envolve os grãos de óxido de magnésio impedindo sua reação imediata com o fosfato de potássio [2]. A adição de resina polimérica também retardou a pega da mistura, com 5 % elevou o tempo de pega para 11 min. O que pode ser entendido que o retardo na reação seja devido à formação de um filme polimérico que recobre as partículas dos componentes adiando a formação da estrutura. Em relação ao aditivo TPF, observou-se uma pequena redução no tempo

com a adição, esse resultado é contrário ao verificado em algumas publicações, em que o aumento gradativo do aditivo elevou o tempo de pega de 12 para 17 min.[12]. Entretanto é fundamentado em outros estudos que em maiores concentrações ocorreu perda da trabalhabilidade [18]. Comportamento semelhante foi citado por Litif et al [19], no qual avaliou a adição de tripolifosfato de sódio em pastas de cimento, em menores concentrações, a reação da pasta de cimento foi retardada, já para concentrações mais altas, os resultados experimentais mostraram uma aceleração na reação de endurecimento. O aumento da consistência em tempos menores, como aponta o autor, pode ser devido à precipitação do fosfato de cálcio na mistura, tornando-a rígida precocemente.

Figura 8: Variação do tempo de pega em função do teor de aditivos

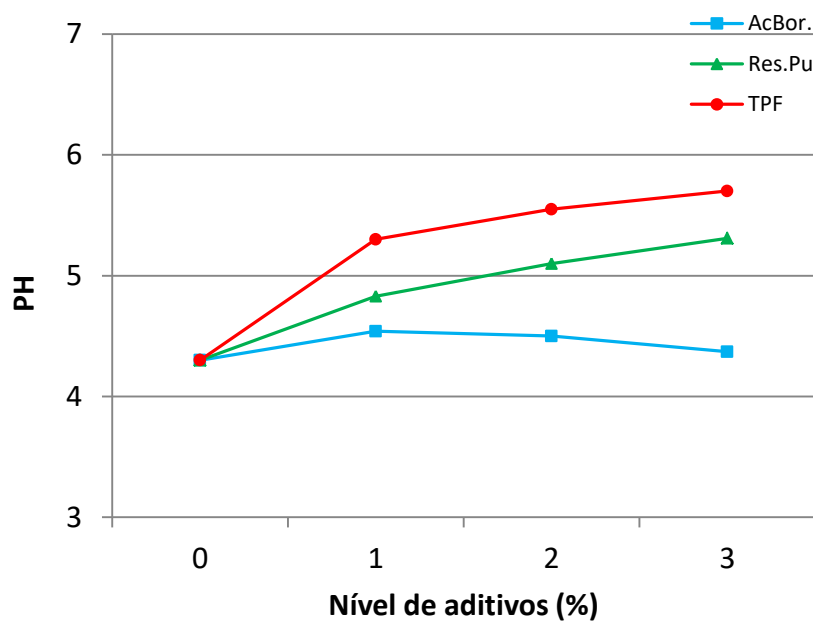


Fonte: Do autor.

Outra tentativa de investigar o mecanismo de reação provocado pelo TPF é proposta por Yang [11], o qual sugere que a dissolução de TPF aumente a solubilidade do óxido metálico (MgO) reduzindo o tempo de pega, demonstrado pelo aumento do pH da mistura. Nesse contexto, como forma de relacionar o tempo de pega com o pH, determinou-se o pH das composições com os três aditivos e os resultados são apresentados na Figura 09. Tratando-se de um cimento ácido-básico a reação inicial deve ocorrer em pH ácido, para que ocorra a formação da estrutura cristalina

desejada, o que se verifica que a adição de ácido bórico pouco alterou o pH ácido da solução (=4,3), o mesmo não aconteceu com os demais aditivos, principalmente para o TPF que provocou uma elevação, conforme sugeriu o autor, o que estaria provocando tempos de pega menores, decorrentes do aumento de solubilidade do componente básico (MgO).

Figura 9: Variação do pH em função do teor de aditivos



Fonte: Do autor.

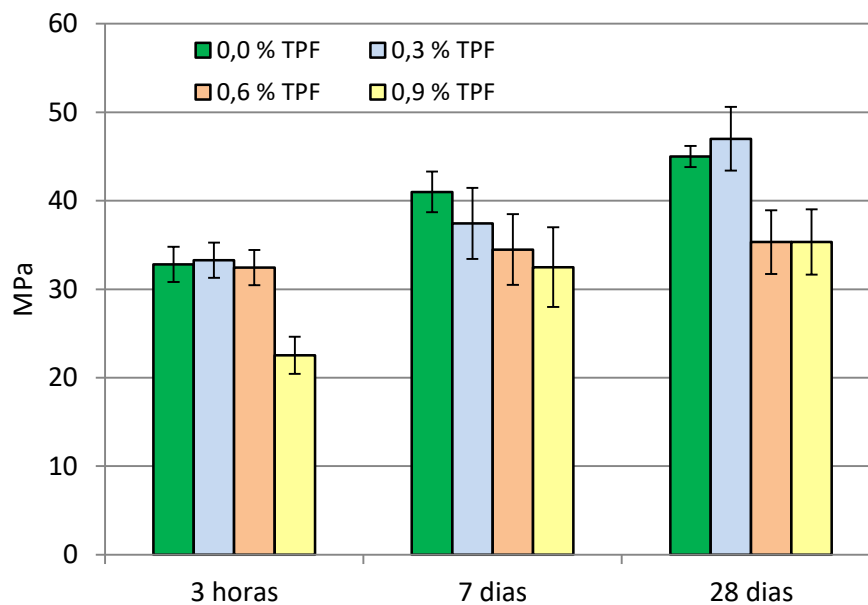
Efeitos sobre a Resistência Mecânica.

Todos os resultados encontrados para resistência mostraram um ganho gradual com o crescimento do tempo de cura. O principal efeito dos retardantes de pega foi de causar um prolongamento no endurecimento inicial da argamassa, o que levou a baixas resistências para cura em 3 horas, comportamento observado para o ácido bórico e a resina, entretanto para o aditivo TPF que acelerou o tempo de pega, as resistências iniciais foram próximas à de referência, para o menor nível de concentração.

Os efeitos da adição de TPF na resistência à compressão e flexão estão apresentados na Figura 10 e 13. Para o menor nível de adição os resultados de resistência são muito próximos dos valores sem aditivos, à medida que se aumenta

a adição, ocorreu redução na resistência nos três tempos de cura, principalmente para 0,9 % de TPF, onde se verificou formação de poros, prejudicando a densidade do material. Observou-se também que, diferentemente da resistência à compressão, os valores para resistência à flexão resultaram acima da amostra de referência. Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato de que o aumento da velocidade de reação, provocada pelo aditivo, interfere na formação da estrutura do material, como mencionado no estudo de SHIJIAN et al [12], o qual descreve que o aumento da temperatura durante o tempo de pega causa um crescimento irregular dos cristais. Essa característica contribui para aumento na resistência à flexão, mas resulta em uma estrutura menos densa, o que leva à redução na resistência à compressão.

Figura 10: Variação da resistência à compressão em função do teor de TPF.

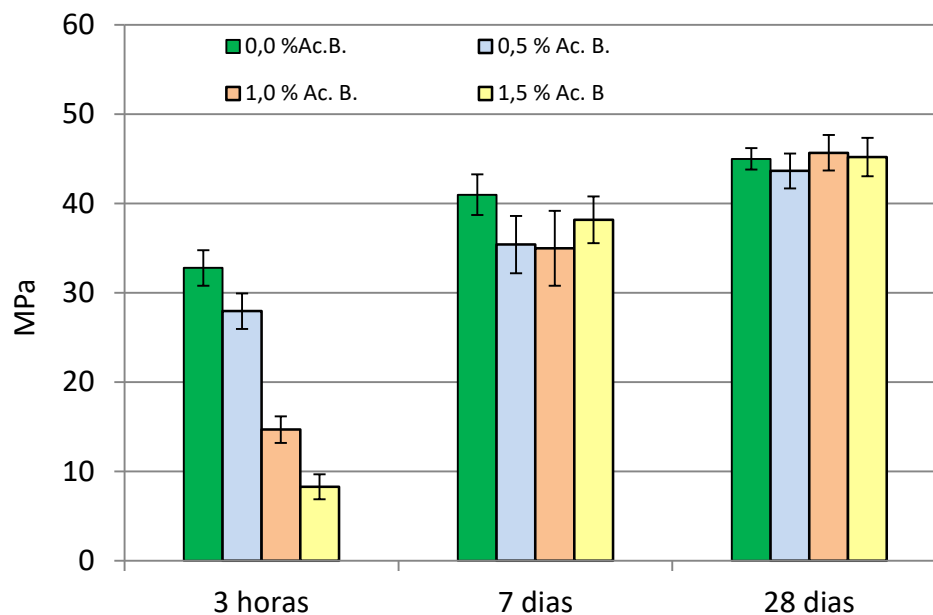


Fonte: Do autor.

Na Figura 11 são apresentados os resultados para composição N° 5 com adição de ácido bórico. Para adições acima de 0,5 % ocorreu perda acentuada da resistência inicial, influenciada diretamente pelo aumento do tempo de pega (de 05 para 34 min.). O que mostra que mesmo com a pega ocorrendo em aproximadamente 30 min, o efeito do aditivo interfere na resistência após algumas horas, mas tende a ser reduzido a partir de 07 dias onde a resistência à compressão alcançou valores próximos aos obtidos sem aditivos. O nível de 0,5 % se mostrou o mais adequado,

de forma que prolongou o tempo de pega de 5 para 12 minutos e a resistência inicial (03 h) atingiu 28 Mpa.

Figura 11: Variação da Resistência à compressão em função do teor de ac.bórico



Fonte: Do autor.

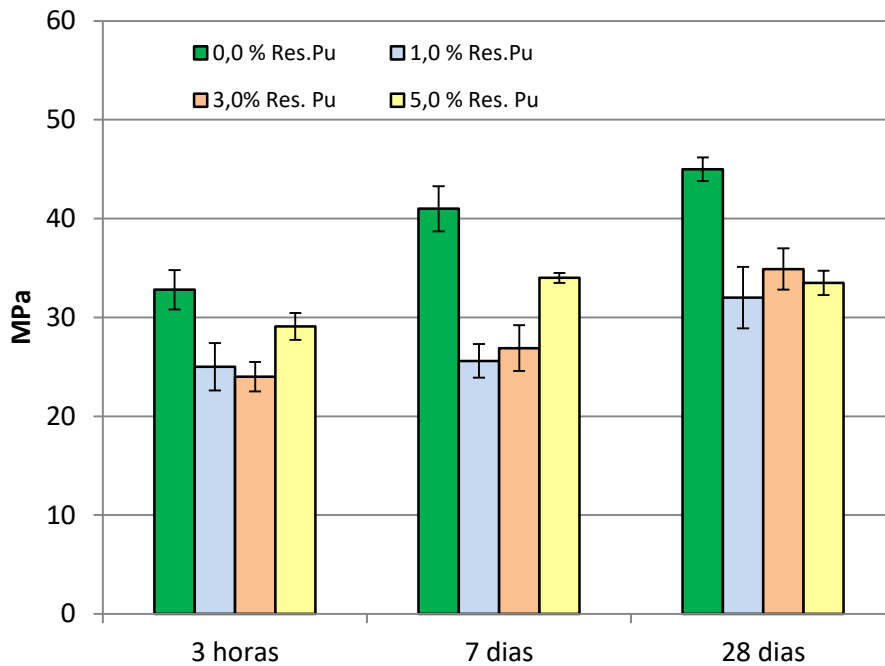
Em relação à adição de resina poliuretana, os resultados de resistência são mostrados na F

igura 12 e 13, observou-se que, a compressão como a flexão, apresentaram valores superiores para o maior nível de adição (5 %), correspondente ao maior tempo de pega. Esse comportamento difere do encontrado para o aditivo ácido bórico, que reduziu a resistência inicial da argamassa devido ao retardo da reação. Conclui-se que o mecanismo de atuação da resina seja diferente nas primeiras horas de cura, a presença de tensoativos na composição retarda a hidratação e a formação de uma película entre as partículas de cimento aumenta a resistência quando comparado com outros retardantes [14].

Embora o aditivo tenha mostrado um resultado satisfatório para resistência inicial, observa-se que com aumento da cura, todas as amostras tiveram resistência inferior quando comparadas ao material sem aditivo. Resultado semelhante foi apresentado por Nascimento [13], seu trabalho tratou da adição de um látex poliuretano em pastas de cimento Portland para poços de petróleo, o qual apresentou redução de

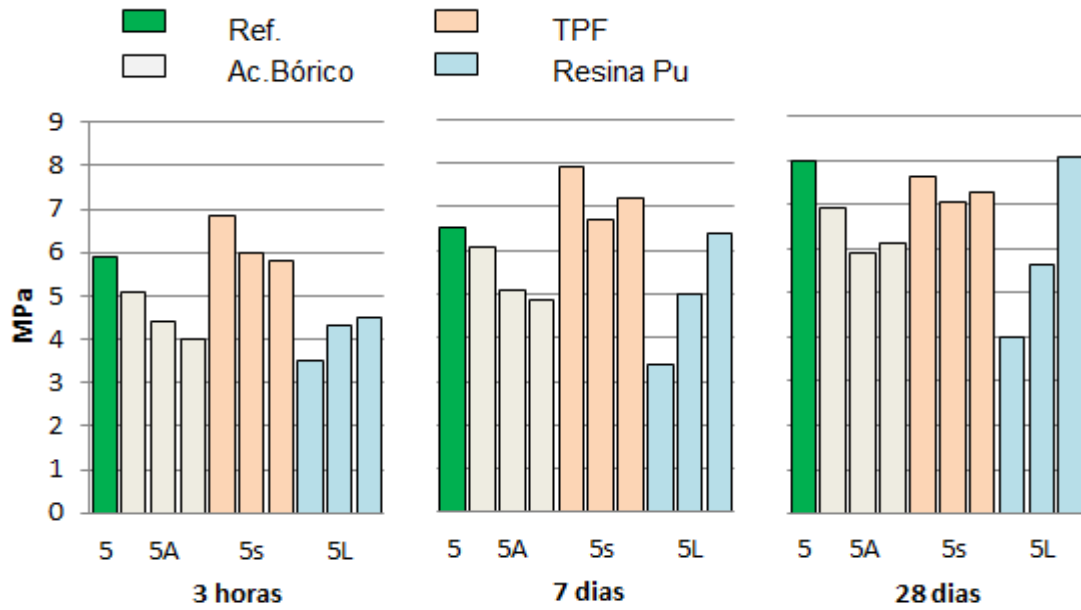
resistência à compressão, o mesmo constatou que o desempenho inferior seja devido à formação de um filme polimérico que recobre os grãos do cimento, o que ocasiona a obstrução da hidratação, reduzindo a quantidade de fase cristalina.

Figura 12: Variação da resistência à compressão em função do teor de resina.



Fonte: Do autor.

Figura 13: Variação da resistência à flexão em função do teor de aditivos.



Fonte: Do autor.

5. CONCLUSÕES

O estudo realizado neste trabalho representa uma iniciativa de formular argamassas de cimento de fosfato de magnésio aditivadas com retardadores de pega que ofereçam melhorias nas propriedades da mistura fresca e mecânicas após endurecimento.

A resistência à compressão atinge valores acima de 30 Mpa após 03h de cura, para algumas composições. O desenvolvimento de altas resistências mecânicas com tempo reduzido pode levar a aplicações que hoje possuem limitações com os ligantes convencionais.

Os resultados mostram que o uso de ácido bórico como aditivo retardador de pega, é eficiente no controle da reação exotérmica que ocorre entre o fosfato e o óxido de magnésio. O tempo de pega pode ser controlado ao nível desejado para manuseio da mistura durante a aplicação, entretanto a resistência inicial foi muito afetada, o que limita sua adição quando se deseja maiores tempo de pega, níveis de 0,5% de ácido bórico se mostraram os mais adequados, com tempo de pega de 12 min e resistência inicial de 28 Mpa.

Adições de tripolifosfato de sódio reduzem o tempo de pega da mistura, tal fator poderia estar associado à elevação do nível de pH encontrado, reflexo do aumento de solubilidade do componente básico (MgO). Esse comportamento, como foi discutido, tem influencia na formação de uma estrutura cristalina irregular, o que ficou evidenciado na avaliação da resistência mecânica, houve redução na resistência à compressão nas curas mais longas, já para à flexão os resultados foram superiores às amostras de referência.

O uso da resina poliuretana aumenta o tempo de pega para 11 min com 5 % de adição e resistência à compressão próxima à de referência nas 03 h de cura. Embora o aditivo tenha mostrado um resultado satisfatório para resistência inicial, observa-se que com aumento da cura, todas as amostras tiveram resistência inferior quando comparadas ao material sem aditivo.

6. REFERÊNCIAS

1. SARKAR, A.K. **Phosphate cement-based fast-setting binders**. Ceramic Bulletin, v. 69, n. 2, p. 234-237, 1990.
2. RIBEIRO, D. V. **Influência da adição de pó de retífica em uma matriz de cimento de fosfato de magnésio**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Eng^a de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos: 2006. 128 p. Disponível em <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/646/pdf>>. Acesso em: 14/08/2015.
3. WAGH, A. S. **Chemically Bonded Phosphate Ceramics. Twenty-First Century Materials with Diverse Applications**. Argonne National Laboratory. Elsevier. 1^a ed. USA. 2004. 283 p. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780080445052>>. Acesso em: 21/08/2015.
4. DUARTE, A. K. **Encapsulamento cerâmico de resíduos de materiais refratários**. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005. 222 p. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8DMF6N/tese_alamarkasanduarte_engmetal_rgica.pdf>. Acesso em: 14/08/2015.
5. ROY, D. **New strong cement materials: chemically bonded ceramics**. Science, v. 235, p. 651-658, 1987. Disponível em : <https://www.ganino.com/games/Science/Science%201986-1988/root/data/Science_1986-1988/pdf/1987_v235_n4789/p4789_0651.pdf>. Acesso em 14/08/2015.
6. FORMOSA, J.; LACASTA, A.M.; NAVARRO, A.; DEL VALLE-ZERMEÑO, R.; NIUBÓ, M.; ROSELI, J.R.; CHIMENOS, J.M. **Magnesium Phosphate cements formulated with a low-grade MgO by-product**: Physico-mechanical and durability aspects. Construction and Building materials 91. 2015. 150-157. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/pdf>>. Acesso em 08/09/2015.
7. Disponível em:<www.velvetop.com/Products/BonsalAmerica/Magna100.htm>. Acesso em 21/09/2016.
8. Disponível em: <<http://www.ceratechinc.com/Content/PDFs/pavemend/PDS-V7-12-Pavemend-SLQ.pdf>>. Acesso em: 21/09/2016.
9. YANG, Q.; Zhu, Zhang, B. S. WU, X. **Properties and applications of magnésia phosphate cement mortar for rapid repair of concrete**. Cement and Concrete Research 2000. 1807-1813. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/pdf>>. Acesso em 08 /09/2015.

10. Cimento no Mundo. **Cimento.org**. 04/09/2014 Disponível em: <<http://cimento.org/cimento-no-mundo/>>. Acesso em 19/04/2016.
11. YANG J. Qian C. **Effect of Borax on hydration and hardening properties of magnesium and phosphate cement pastes**. J. Wuhan Univ. Technol, Mater Sci Ed 2010. 25 (4); 613-08. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 22/09/2015.
12. SHIJIAN, F.; BING, C. **Experimental study of phosphate salts influencing properties magnesium phosphate cement**. Construction and Building materials 65. 2014. p.480-486. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/pdf>>. Acesso em 08 /09/2015.
13. NASCIMENTO, J. H. Oliveira do. **Adição de poliuretana não iônica a cimento portland especial para cimentação de poços de petróleo**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2006. 172 p. Disponível em: < <http://www.livros01.livrosgratis.com.br/cp038945.pdf>>. Acesso em: 24/05/2016.
14. CARBONE, C. E.; SANTOS, H.; ROMANO, R. C. de O.; PILEGGI, R. G. **Efeito da adição de látex nas pastas de cimento branco no estado endurecido**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 317-330, jul./set. 2013. ISSN 1678-8621. Disponível em: < <http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/30035/27158.pdf>>. Acesso em: 24/05/2016.
15. GURGEL, E. N. de M. P. **Aditivação de pastas geopoliméricas com tetraborato de sódio e látex não iônico para cimentação de Poços de Petróleo**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2007. 94 p. Disponível em: < <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12862/1/EricaNMGP.pdf>>. Acesso em : 15/12/2015.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 65: Cimento Portland: Determinação do Tempo de Pega**:. Rio de Janeiro, 2003.
17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.
18. HALL, DA, Stevens, R. El-Jazairi, B. **The Effect of Retarders on the microstructure and mechanical properties of magnesia-phosphate cement mortar**. Cement Concrete Research. 2001; 31(3)-455-65. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em 22/09/2016>.

19. LTIFI, M.; GUEFRECHB, A.; MOUNANGAC, P. **Effects of sodium tripolyphosphate addition on early-age physicochemical properties of cement pastes.** Procedia Engineering 10 (2011) 1457–1462. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>>. Acesso em: 26/08/2016.