

DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS AUTONIVELANTES A PARTIR DO RESÍDUO INDUSTRIAL FOSFOGESSO

Autores: Sabrina Kalise Heinen (1) ; Cecília Ogliari Scahefer (2); Janaíde CAVALCANTE ROCHA (3), Malik CHERIAF (4),

- (1) Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, e-mail: sabrina_kalise@hotmail.com
(2) Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, e-mail: cissa.og@gmail.com
(3) Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, e-mail: janaide.rocha@ufsc.br
(3) Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, e-mail: malik.cheriaf@gmail.com

RESUMO

O fosfogesso é um resíduo da produção de ácido fosfórico, utilizado pela indústria de fertilizantes. Este subproduto a base de sulfato de cálcio é semelhante à gipsita usada na produção de materiais de construção, contendo, porém, algumas impurezas. Esta pesquisa avalia o desempenho deste fosfogesso em argamassas autonivelantes, caracterizadas por fluírem e se autonivelarem apenas com o peso próprio, preenchendo lugares dificilmente alcançados por uma argamassa comum. Buscou-se adotar pequenas quantidades de cimento e máximas do resíduo para que o material torne-se mais barato e cause o mínimo de impactos ambientais, chegando a utilizar 75% de fosfogesso no material aglomerante. O cimento adotado foi o alumínoso, por mostrar-se mais compatível com o fosfogesso. Foram analisadas diferentes temperaturas de calcinação (100, 190 e 350°C) visando melhorar o desempenho do material, obtendo os compostos denominados fosfogesso seco, hemihidrato e fosfoanidrita. Foram avaliadas propriedades hídricas, absorção por capilaridade e ângulo de molhamento, e mecânicas como resistência e retração. As argamassas produzidas com fosfogesso e as de fosfoanidrita, ambas utilizando cimento Portland como ativador apresentaram os melhores resultados, demonstrando a viabilidade do seu uso. As características autonivelantes foram alcançadas e os resultados apresentam boa resistência mecânica e baixa adsorção de água.

Palavras-chave: fosfogesso, autonivelante, propriedades hídricas, propriedades mecânicas.

A gypsum is a waste from phosphoric acid production, used for the fertilizer industry. This by-product based on calcium sulfate is similar to that used in the production of gypsum building materials, containing, however, some impurities. This study evaluates the performance this phosphogypsum in self-leveling mortars, characterized by flow and autonivelarem only with the weight of its own, filling places hardly achieved by a common mortar. We tried to take small quantities of cement and maximum of the residue so that the material becomes more expensive and cause minimal environmental impact, even using 75% of the gypsum binder material. The cement used was alumina, since the latter is more compatible with phosphogypsum. We analyzed different calcination temperatures (100, 190

and 350 ° C) to improve the performance of the material, getting the compounds called dry gypsum, hemihydrate and fosfoanidrita. We evaluated water properties, water absorption by capillarity and wetting angle, and mechanical properties as strength and shrinkage. The mortars produced with phosphogypsum and the fosfoanidrita, both using Portland cement as an activator showed the best results, demonstrating the feasibility of its use. The self-leveling characteristics were achieved and the results show good mechanical strength and low water adsorption.

1. INTRODUÇÃO:

As argamassas autonivelantes são ainda consideradas uma inovação tecnológica. Elas são capazes de se auto-adensar apenas sobre o efeito da gravidade e de sua própria capacidade de fluxo sendo caracterizadas pela grande capacidade de fluir sem segregar. Estas são compostas de materiais a base de cimento ou outros aglomerantes, agregados de granulometria controlada e com uso de aditivos específicos. Quando é acrescida a água, são originadas caldas muito fluidas, coesas, de fácil trabalhabilidade, perfeitamente autonivelantes e com elevada adesividade aos suportes. (MARTINS, E. J.,2009).

Para desenvolver uma argamassa autonivelante que possa ser usada como cobertura de pisos as seguintes propriedades são necessárias: baixa densidade ($1,7 - 1,8\text{g/cm}^3$), grande fluidez (250mm – 300mm de diâmetro no teste de mesa de consistência) sem segregação, moderada resistência a compressão ($8 - 10\text{MPa}$ em 28dias) e baixa retração (menor que 1,2mm/m) BARLUENGA, G. e OLIVARES, F. H (2010).

Existem dois tipos de argamassas autonivelante, as de cimento e as de sulfato de cálcio. As primeiras, ditas tradicionais são insensíveis à água, entretanto apresentam como desvantagem a retração e consequente fissuração. No Brasil a produção do gesso natural está concentrada na região Nordeste (CANUT, M. M. C.,2006). Sendo assim, o gasto com o transporte para as regiões Sul e Sudeste é responsável por metade do preço deste material. Por outro lado, a maior quantidade de indústrias de fertilizantes, produtoras de fosfogesso, estão localizadas na região Sudeste. Portanto o investimento nessa nova fonte de sulfato de cálcio possibilitaria significativa redução do custo de alguns materiais. O uso de fosfogesso em argamassas autonivelantes foram analisadas neste trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O fosfogesso utilizado nesta pesquisa tinha umidade natural de 26,4%. Este fosfogesso passou por diferentes tratamentos térmicos para avaliar a influência da temperatura de calcinação sobre as propriedades das argamassas:

- Secagem a 100°C, obtendo o material chamado de fosfogesso seco;
- Calcinação a 190°C por 2 horas, obtendo o hemihidrato, por já ter perdido água estrutural;
- Calcinação a 350°C por 2 horas, obtendo o material chamado fosfoanidrita, por ser formado principalmente por sulfato de cálcio anidro (CaSO_4).

Por melhor adaptar-se ao fosfogesso e às propriedades autonivelantes, bem como para reduzir a sensibilização à água, foi utilizado cimento aluminoso. O cimento Portalnd foi usado como ativador em sistemas ternários, sendo escolhido o CPII-F.

A areia usada é natural média e os ativadores são cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e sulfato de potássio (K_2SO_4).

As características dos materiais citados estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Características dos materiais

Material	massa específica (g/cm ³)	superfície específica - Blaine (cm ² /g)
fosfogesso seco	2,62	4766
hemidrato	2,64	3615
Fosfoanidrita	2,67	1308
cimento		
aluminoso	2,96	3877
CPII-F	3,08	3121

As argamassas foram produzidas com relação água cimento padrão 0,58, para que pudessem ser feitas comparações coerentes em relação a resistência mecânica e absorção de água. A relação aglomerante/agregado foi estabelecida em 1:2. Para atingir as propriedades autonivelantes foi utilizado aditivo superplastificante (tipo policarboxilato). Os ativadores foram dosados em 1% da massa do aglomerante. Os traços das 9 misturas analisadas estão relacionados na tabela 2.

Tabela 2 - Traço das argamassas

nº	Dosagem*	sulfato de cálcio	observações
1	75/25	fosfogesso seco	SP=0,9%
2	75/25	fosfogesso seco	SP=0,9%, K ₂ SO ₄ , cal
3	65/10/25	fosfogesso seco	SP=1%, ativador CPII-F
4	75/25	hemihidrato 190°C	SP=1%
5	75/25	hemihidrato 190°C	SP=1%, K ₂ SO ₄ , cal
6	65/10/25	hemihidrato 190°C	SP=1%, ativador CPII-F
7	75/25	fosfoanidrita 350°C	SP=1%
8	75/25	fosfoanidrita 350°C	SP=1,1%, K ₂ SO ₄ , cal
9	65/10/25	fosfoanidrita 350°C	SP=1%, ativador CPII-F

*binário: FG/alu, ternário: FG/CPII-F/alu

A resistência mecânica foi avaliada em corpos-de-prova prismáticos, de dimensão 4x4x16cm, que foram rompidos à compressão nas idades de 1, 7 e 28 dias.

2.1. Propriedades Higroscópicas

Foi avaliada a absorção de água por capilaridade nas amostras com 1 dia, com absorção capilar ao álcool permitindo a determinação do ângulo de molhamento

Foram avaliadas também as isotermas de adsorção empregando-se sete na temperatura de 50°C, que representavam umidades relativas diferentes. Os sais, dissolvidos em água destilada, são: hidróxido de potássio (KOH), acetato de potássio (KCH_3CO_2), cloreto de magnésio ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), bicromato de sódio ($Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$), nitrito de sódio ($NaNO_2$), cloreto de sódio ($NaCl$) e sulfato de potássio (K_2SO_4). Os valores de umidade relativa fornecidos são: 6, 20, 31, 47, 65, 76 e 96%, respectivamente.

As isotermas foram posteriormente ajustadas, por meio de programa computacional, ao modelo de GAB, que é considerado o mais completo, cuja fórmula, retirada de é a seguinte:

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{[(1-K \cdot a_w) \cdot (1 + (C-1) \cdot K \cdot a_w)]} \quad (\text{eq. 01})$$

onde: W = conteúdo de umidade mássico no equilíbrio;

X_m = conteúdo de umidade na monocamada molecular;

a_w = umidade relativa no ambiente;

C = constante de GAB, relacionada ao calor de sorção da camada molecular de água;

K = constante relacionada ao calor de sorção de todas outras camadas.

O conteúdo de umidade da monocamada (X_m) é a quantidade de água retida na primeira camada de moléculas, ou seja, a região mais externa. A espessura dessa monocamada é variável em cada material [SANTOS, F. I. G.](#); ROCHA, J. C.; CHERIAF, M (2007)

2.2. Estudo da Estabilidade Dimensional:

Foi avaliada a retração do material, utilizando o método descrito na NBR 15261-2005.

3. RESULTADOS

Todos os traços desenvolvidos apresentaram a principal característica autonivelante, ou seja, obter no teste de consistência um diâmetro de espalhamento entre 250 e 300mm. Para que as argamassas apresentassem esta característica autonivelante a quantidade de aditivo superplasticificante adicionada foi variável de 0,9% em massa de aglomerante nas argamassas a base de fosfogesso até 1,1% na amostra número 8, produzida com fosfoanidrita e ativadores, sendo perceptível que o fosfogesso adapta-se mais facilmente às propriedades autonivelantes que os produtos calcinados. Notou-se ainda, que a adição de cal e sulfato de potássio, embora não influencie muito no diâmetro atingido é importante no tempo trabalhável da argamassa, sendo que este torna-se tão reduzido que inviabiliza algumas aplicações.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão estão listados na tabela 3.

Tabela 3 - Resistência à compressão

nº	resistência a compressão		
	média 1 d	média 7d	média 28 d
1	6,12	9,645	10,585
2	6,67	9,54	9,505
3	10,7	13,545	13,545
4	2,92	7,72	8,62
5	6,545	9,925	10,49
6	10,015	13,95	13,555
7	6,43	8,58	9,17
8	6,45	10,11	10,04
9	11,95	15,57	15,82

Os resultados mostram que a resistência à compressão dessas argamassas pouco muda de 7 para 28 dias. Isto ocorre principalmente devido ao uso de cimento aluminoso, que costuma atingir em apenas 3 dias 80% da resistência aos 28 dias. Analisando os resultados de cada amostra observa-se que o uso de cal e sulfato de potássio como ativadores só é efetivo na resistência das argamassas feitas com fosfogesso calcinado. O uso destes chegou a reduzir a resistência da argamassa produzida com fosfogesso seco (número 2) quando comparada a argamassa 1 que tem a mesma composição, porém sem ativadores. Nas argamassas feitas com fosfogesso calcinado a 190 e 350°C ocorreu ganho de resistência (argamassas 5 e 8), se comparada com as mesmas composições sem ativadores. (4 e 7).

As argamassas produzidas com 65% de fosfogesso, 25% de cimento aluminoso e 10% de cimento Portland resultaram nas maiores resistências mecânicas. O cimento Portland também se mostrou um bom ativador para a anidrita, sendo que a elevação da resistência mecânica entre as argamassas produzidas com fosfogesso calcinado a 350°C foi maior do que nos outros dois tipos de fosfogesso. O consumo do fosfogesso deve ser controlado, o uso de 75% de fosfogesso e 25% de cimento aluminoso, sem ativadores, necessita de emprego de ativadores. No entanto, ao serem adicionados ativadores ou cimento Portland as amostras apresentaram aumento da resistência com a elevação da temperatura de calcinação, mostrando que nestes casos, um tratamento térmico é importante..

3.1. Absorção por capilaridade

Dentre as argamassas 1, 4 e 7, produzidas com relação fosfogesso/cimento = 75/25, utilizando apenas aditivo superplastificante e estabilizador de reologia, nota-se que a absorção inicial, até 500 minutos, foi aumentando com o aumento da temperatura de calcinação, mostrando que o fosfogesso seco absorve, neste período, menos água que os tratados. Comparando o desempenho das argamassas 2, 5 e 8, desenvolvidas com relação fosfogesso/cimento = 75/25, utilizando, além dos aditivos, os ativadores, cal e sulfato de potássio, observa-se que a absorção da anidrita foi reduzida, pois, com a maior quantidade

de aditivo a argamassa apresenta menos porros em sua composição. O resultado evidencia que o uso de ativadores é mais eficiente na presença de fosfoanidrita e no hemidrato que no sulfato de cálcio dihidratado, pois este último apresentou aumento da absorção de água. Analisando as argamassas 3, 6 e 9, nas quais quantidade de fosfogesso foi reduzida em 10% e o cimento Portland foi usado como ativador, formando um ternário fosfogesso/cimento Portland/cimento aluminoso = 65/10/25, os resultados foram semelhantes aos obtidos no primeiro grupo de comparação, obtendo novamente, maior absorção inicial para a anidrita, apresentando maior absorção por capilaridade com o aumento da temperatura de calcinação. Esses resultados mostram, também, que apesar de o cimento Portland ter efeito potencializador na resistência mecânica, não altera muito o comportamento em contato com água.

Dentre as argamassas amostradas, a que apresentou maior absorção por capilaridade nas primeiras 10 horas de ensaio foi a argamassa número 9, produzida com fosfogesso calcinado a 350°C num traço 65/10/25 (FG/CP/aluminoso) e em seguida a ela vem a argamassa número 2. Esses resultados mostram que, embora a estrutura formada pela anidrita seja mais resistente a esforços mecânicos, o corpo de prova utilizado no ensaio apresenta maior porosidade, facilitando a ascensão por capilaridade, nas primeiras horas. A anidrita é mais instável na presença de água, pois devido à inexistência desta em sua estrutura, torna-se ávida por água. A alta absorção da argamassa 2 indica, mais uma vez, que o fosfogesso seco é incompatível com os ativadores.

As argamassas que apresentaram menor absorção foram 1 e 8, cujo traço é 75/25 (FG/aluminoso), sendo a primeira produzida com fosfogesso seco e 0,9% de aditivo superplasticificante a segunda com anidrita, ativadores e 1,1% de aditivo. A argamassa , apresentou baixa absorção por capilaridade, indicando que o fosfogesso seco seria um bom material quando em contato com a água, por já ter água em sua estrutura e não precisar de mais para hidratar. A baixa absorção indica, principalmente, menor porosidade em sua estrutura. Esta baixa porosidade foi atingida no fosfogesso com 0,9% de aditivo, enquanto na argamassa 8, a qual contém anidrita e apresentou absorção semelhante, esta redução da porosidade foi atingida utilizando-se um maior teor de aditivo.

3.2. Molhabilidade

Os coeficientes de sorptividade são utilizados no cálculo do ângulo de molhamento com a fórmula abaixo, na qual μ é a viscosidade dinâmica da água ou álcool e σ é a tensão superficial destes líquidos, sendo estes dados constantes encontradas em literatura.

$$\cos \alpha = \left(\frac{S_a}{S_{al}} \right)^2 * \frac{\mu_a * \sigma_{al}}{\mu_{al} * \sigma}$$

Os valores das sorptividades e do ângulo de molhamento estão apresentados na tabela 4.

Ao analisar os valores obtidos para sorptividade da água nota-se que as amostras, não apresentam um padrão para aumento ou redução desta taxa. As maiores sorptividades estão corretamente relacionadas com as maiores absorções encontradas no período de 24 horas, correspondentes as argamassas número 4 e 9. Do mesmo modo a menor sorptividade, obtida na amostra 8, relaciona-se com a menor absorção. Observa-se que a sorptividade do álcool, apresentou valores semelhantes para cada grupo de análise. Nas amostras com 75% de fosfogesso e 25% de cimento aluminoso foram obtidos valores intermediários, próximos a 0,02. Com adição de ativadores foram encontrados valores

próximos a 0,04. Com cimento Portland, os valores são menores e em torno de 0,017. Exceto as argamassas 4 e 9, todas as outras apresentaram sorptividade do álcool maior que da água.

Tabela 4 – Resultados do ensaio para determinação do ângulo de molhamento

Argamassa	Sa (cm x min1/2)	Sal (cm x min1/2)	Ângulo de molhamento (°)
1 - FG seco	0,011	0,0211	85,87
2 - FG seco + ativadores	0,0139	0,0427	88,39
3 - FG seco + CPII-F	0,016	0,0173	76,89
4 - hemidrato	0,0251	0,0189	62,11
5 - hemidrato + ativadores	0,0145	0,0395	87,95
6 - hemidrato + CPII-F	0,0136	0,0177	80,99
7 - anidrita	0,0164	0,0169	85,98
8 - anidrita + ativadores	0,0072	0,0409	89,51
9 - anidrita + CPII-F	0,0185	0,0152	61,08

Em teoria, ângulos de molhamento maiores representam menor molhabilidade. Isto se aplica perfeitamente na argamassa 8, que apresentou maior ângulo de molhamento e menor absorção de água. A argamassa número 9, desenvolvida com anidrita e Cimento Portland, apresentou o menor ângulo de molhamento e a maior absorção de água em 24 horas. A argamassa número 4, que apresentou a segunda maior molhabilidade também apresentou o segundo menor ângulo de molhamento. Houve exceções a regra, como a argamassa 2, que apesar de apresentar o segundo maior ângulo de molhamento, não se mostrou pouco molhante. Nota-se que o efeito da calcinação pouco influencia no ângulo de molhamento das argamassas.

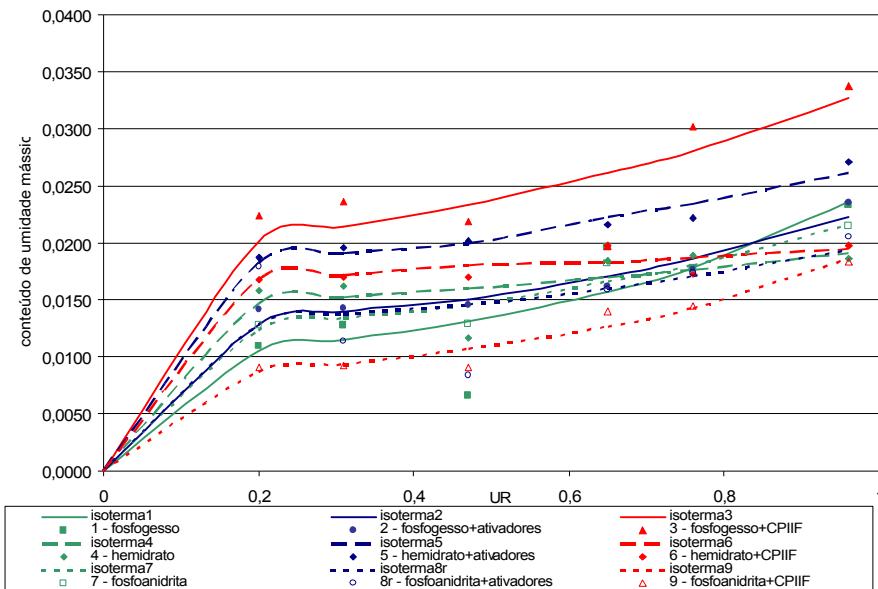
3.3. Adsorção

As isotermas foram desenvolvidas a partir do ajuste matemático destes pontos usando o modelo de GAB. Foi utilizado um programa computacional de linearização para que fossem obtidos os coeficientes X_m , C e k do modelo. A tabela 5 mostra esses coeficientes, bem como o coeficiente de correlação dos dados experimentais com o modelo (r^2). Excetuando as amostras 1 e 8, as outras apresentaram uma boa correlação com o modelo, pois se obtiveram coeficientes maiores que 0,9.

Tabela 5 - Coeficientes do modelo GAB.

Argamassa	1	2	3	4	5	6	7	8r	9
X_m	0,00919	0,0115	0,01834	0,01385	0,01692	0,01621	0,01108	0,01178	0,00758
C	3,097.10 ¹³	4,885.10 ¹¹	1,372.10 ¹²	3,782.10 ¹³	6,372.10 ¹¹	2,642.10 ¹²	5,168.10 ¹¹	1,237.10 ¹²	4,987.10 ¹²
K	0,636	0,5042	0,4567	0,2849	0,3672	0,1765	0,5081	0,4094	0,6106
r^2	0,8456	0,9878	0,922	0,911	0,9923	0,9835	0,9796	0,7807	0,9785

Figura 1 - isotermas de adsorção



As curvas apresentadas na figura 2 contém os dados experimentais e ajustados das isotermas e mostra o comportamento das argamassas desenvolvidas com fosfogesso seco, hemidrato e fosfoanidrita em diferentes umidades relativas. As isotermas obtidas são do tipo 3, as mais prováveis em materiais de construção civil. Nota-se a calcinação a 350°C é mais eficiente que a 190°C quando se deseja diminuir a quantidade de água absorvida pelos poros das argamassas. A mais baixa absorção ocorre na argamassa produzida com fosfoanidrita, cimento Portland e cimento aluminoso na proporção 65/10/25, enquanto a maior absorção ocorre com o fosfogesso em mesmas proporções. As argamassas produzidas com hemidrato obtiveram absorções experimentais mais parecidas com os dados do modelo de GAB.

3.4. Retração por secagem

Ocorreu retração em todas as amostras ensaiadas, ou seja, a argamassa teve seu comprimento reduzido. Esta retração, no entanto, apresentou valores considerados baixos e não foi acompanhada por qualquer fissuração. A mínima retração está relacionada à amostra 2. A máxima retração ocorreu na amostra 9. Essa máxima retração é inferior a 1,2mm/m, valor estabelecido para que uma argamassa autonivelante possa ser utilizada para revestimentos de pisos. Conclui-se, portanto, que há uma maior variação dimensional com o aumento da temperatura de calcinação.

4. CONCLUSÕES CONSIDERAÇÕES FINAIS

A calcinação do fosfogesso realizada na temperatura de 190°C inviabilizou a dosagem da argamassa, pois as argamassas produzidas com o composto chamado hemi-hidrato não desenvolveram resistência superior àquelas produzidas com fosfogesso seco. Já, a calcinação realizada na temperatura de 350°C por 2 horas, promoveu um aumento de resistência mecânica em relação às amostras anteriores. Esta calcinação já traz resultados vantajosos, e deve ser mais bem estudada. O uso de cimento Portland como ativador demonstrou ser a melhor solução para atingir melhores resistências. O uso dos ativadores cal e sulfato de potássio originam melhores resultados com os materiais calcinados, pois se mostrou prejudicial ao fosfogesso seco. Apesar de apresentar aumento de resistência quando usado, recomenda-se sua não utilização, pois reduz a trabalhabilidade do material a um tempo aproximado de 15 minutos, prejudicando a aplicação do material.

Analizando o comportamento em água, nota-se que a adsorção dificilmente ultrapassa os 4% em qualquer um dos materiais. Conclui-se que a menor absorção está relacionada com argamassa número 9, produzida com fosfoanidrita e cimento Portland, embora a mesma tenha uma alta absorção de água por capilaridade. Para revestimentos internos este seria o material ideal, pois não terá contato direto com água, sendo a umidade ambiente o parâmetro mais importante. Absorvendo pouca água espera-se menor deterioração bem como menor tendência de retração hidráulica reversível. A argamassa número 1, produzida com fosfogesso seco, apresenta baixa absorção nos dois métodos analisados. Seria, portanto um bom material a ser utilizado, mesmo que tenha eventual contato direto com água. Outra argamassa com comportamento relevante em água é a de número 3, desenvolvida com fosfogesso seco e cimento Portland. Ela apresentou alta adsorção nas isotermas, no entanto teve a mais baixa absorção por capilaridade, o que quer dizer que exposta à água, desde que não por tempos muito prolongados, esta apresentará baixa absorção. A amostra 8, teve desempenho consideravelmente bom em água, porém seu uso é menos vantajoso devido ao seu elevado custo, pois requer um patamar mais elevado de calcinação, além de ativadores e maiores teores de aditivos.

Por fim, os dados de retração mostram que todas as argamassas apresentaram retração inferior ao encontrado na literatura, mesmo porque, ao contrário do cimento, o gesso tem características expansivas. Para que uma argamassa autonivelante seja considerada boa, deve apresentar retração inferior a 1,2mm/m. A máxima retração registrada foi na argamassa 9, valor correspondente a 0,932mm/m. A mínima retração encontrada foi na argamassa 2, cujo valor obtido foi 0,2mm/m. Conclui-se que o aumento da temperatura de calcinação provoca também um aumento da retração nas argamassas desenvolvidas com estes materiais e que o uso de cimento Portland como ativador acarretou maiores níveis de retração. No entanto, o uso deste cimento não pode ser considerado prejudicial, pois, os valores dos resultados da retração, encontrados na presente pesquisa ainda são inferiores ao máximo permitido e, visualmente, não se identificou fissuração nos corpos de prova.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARLUENGA, G. e OLIVARES, F. H. **Self-levelling cement mortar containing grounded slate from quarrying waste.** Construction and Building Materials, v.24, p.1601–1607, 2010.

CANUT, M. M. C. **Estudo da viabilidade do uso do resíduo fosfogesso como material de construção.** Dissertação para mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

CANUT, M. M. C. et al. **Microstructural analyses of phosphogypsum generated by Brazilian fertilizer industries.** Materials Characterization, v.59, p.365-373, 2008.

DEĞIRMENCI, N. **Utilization of phosphogypsum as raw and calcined material in manufacturing of building products.** Construction and Building Materials, v.22, p.1857–1862, 2008.

HUANG, Y.; LIN, Z. **Effect of Sodium Hydroxide on the Properties of Phosphogypsum based Cement.** Journal of Wuhan University of Technology-Mate, v.25, nº2, 2010.

MARTINS, E. J. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa autonivelante.** Dissertação para mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, 2009.

MESQUITA, G. M.; REZENDE, L. R. **Avaliação ambiental da aplicação de fosfogesso em pavimentação.** ELEC, 2007.

POTGIETER, J. H. et. al. **An investigation into the effect of various chemical and physical treatments of a South African phosphogypsum to render it suitable as a set retarder for cement.** Cement and Concrete Research, v.33, p.1223–1227, 2003.

SANTOS, F. I. G. ; ROCHA, J. C. ; CHERIAF, Malik . Influência da cinza pesada empregada em substituição ao agregado natural nos mecanismos de transferência de umidade em argamassas. Matéria (UFRJ), v. 12, p. 253-268, 2007

SINGH, M. **Treating waste phosphogypsum for cement and plaster manufacture.** Cement and Concrete Research, v.32, p.1033–1038, 2002.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as bolsas e o financiamento da pesquisa do Conselho Nacional Científico e Tecnológico (CNPq).