

Estudo das propriedades do gesso de fundição com adição de aditivo hidrofugante

Study of casting gypsum properties with addition of a water-repellent additive

Karina Paula Barbosa de Andrade Lima 

Daniel Bruno Pinto da Silva 

Ana Luíza Xavier Cunha 

Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti 

Felipe Bezerra de Lima 

Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo 

Romildo Morant de Holanda 

Yêda Vieira Póvoas 

¹Karina Paula Barbosa de Andrade Lima

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife - PE - Brasil

²Daniel Bruno Pinto da Silva

²Universidade Federal de Pernambuco
Recife - PE - Brasil

³Ana Luíza Xavier Cunha

³Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande - PB - Brasil

⁴Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti

⁴Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife - PE - Brasil

⁵Felipe Bezerra de Lima

⁵Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife - PE - Brasil

⁶Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo

⁶Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife - PE - Brasil

⁷Romildo Morant de Holanda

⁷Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife - PE - Brasil

⁸Yêda Vieira Póvoas

⁸Universidade de Pernambuco
Recife - PE - Brasil

Recebido em 04/10/22

Aceito em 15/03/23

Resumo

O gesso é um material largamente utilizado na construção civil, mas seu uso se restringe a áreas com pouca umidade ou ação da água. O estudo mostra a influência da aplicação de um aditivo hidrofugante comercial na produção de pastas de gesso. O ensaio de absorção de água por imersão total definiu os teores utilizados na caracterização das pastas no estado fresco e endurecido. A absorção de água diminuiu em 1,0% de adição e volta a crescer aos 2,0%, revelando que o teor ótimo do hidrofugante utilizado deve estar entre 0,3% e 1,0%. Na absorção de água por capilaridade, o aditivo apresentou melhor resultado quando utilizado em 1,0%, sendo a mistura classificada como preventiva à água. A resistência à compressão diminuiu em 3,6% e a dureza superficial em até 6,2% nas pastas, quando comparadas às de referência. O aditivo provocou a modificação das propriedades das pastas de gesso no estado fresco e endurecido. A formação da barreira impermeabilizante não foi verificada, e a utilização de maiores teores de hidrofugação poderá ser inviável devido ao elevado custo do aditivo.

Palavras-chave: Gesso. Aditivo hidrofugante. Resistência à compressão. Absorção de água.

Abstract

Gypsum is a widely used material in civil construction, but its use is restricted to areas with low humidity or water action. The study shows the influence of the application of a commercial water-repellent additive in production of gypsum pastes. The total immersion water absorption test defined the contents used for the characterization of fresh and hardened plasters. The water absorption decreased in 1.0% and returned to increase in 2.0%, revealing that the optimal content of the water repellent used must be between 0.3% and 1.0%. According to the capillary water absorption test, the water repellent additive showed the best results when used the content of 1.0% and was classified as water-preventive. The compressive strength decreased by 3.6% and the surface hardness by up to 6.2% in the pastes, when compared to the reference ones. The additive caused a change in the properties of gypsum pastes in the fresh and hardened state. The waterproofing barrier was not verified, the use of higher levels of water repellent may be unfeasible due to the high cost of the additive.

Keywords: Gypsum. Water-repellent additive. Compressive strength. Water absorption.

Introdução

As pastas de gesso são largamente utilizadas na produção de painéis, blocos, argamassas, revestimento de paredes e elementos decorativos devido às suas propriedades de isolamento termoacústico e boa estética, além de ser um material sem odor, resistente ao fogo e ecológico (MAGALLANES-RIVERA; ESCALANTE-GARCÍA; GOROKHOVSKY, 2009; HEIM *et al.*, 2018). O uso dessas pastas em elementos de vedação apresenta potencial positivo devido à grande quantidade de depósitos de gipsita e do baixo consumo de energia e tecnologia na produção do gesso (PANCHENKO; KOZLOV, 2016).

Existe uma considerável diferença de aplicação de materiais de construção à base de gesso e à base de cimento. Isso se deve ao fato de o gesso, por ser um aglomerante aéreo, possuir baixa resistência mecânica e à água, sendo recomendado para ambientes secos e com baixa umidade (KONDRATIEVA *et al.*, 2017). Enquanto o cimento é um aglomerante hidráulico que em contato com a água entra em processo físico-químico, tornando-se um elemento sólido com grande resistência à compressão e resistente a água e a sulfatos, recomendado para os diversos tipos de ambientes dependendo do cimento utilizado (CASTRO *et al.*, 2020).

O gesso comum, ou seja, o hemidrato beta ou gesso rápido, tem uma taxa de absorção de água de aproximadamente 50%, resultando em alta deformação plástica, diminuição da resistência aos esforços e baixa resistência aos impactos (PANCHENKO; KOZLOV, 2016; LI; LI; YU, 2007), além de necessitar de maior quantidade de água por massa para atingir a consistência adequada (WU *et al.*, 2014).

A expansão da utilização de produtos à base de gesso depende do melhoramento de suas propriedades físicas e mecânicas, obtidas por meio da redução do efeito da ação da água (YAKOVLEV *et al.*, 2015). A aplicação de aditivos e adições tem sido uma das formas mais eficazes de aumentar a resistência do gesso à água e à umidade (KONDRATIEVA *et al.*, 2017). Existem aditivos provenientes de descartes industriais capazes de aumentar a resistência mecânica e à água das pastas de gesso (YAKOVLEV *et al.*, 2015). Os aditivos orgânicos, como a sílica em gel, e a aplicação de cimento na pasta de gesso não evidenciaram resultados benéficos quanto à absorção de água, assim como ocorrido com tintas orgânicas impermeabilizantes (LI; LI; YU, 2007).

Os aditivos hidrofugantes são usados na fabricação de blocos de gesso, reduzindo a capacidade de absorção de água, possibilitando a utilização em áreas molhadas e molháveis, como banheiros, cozinhas e áreas de serviço (MEDEIROS, 2016; WINCKLER, 2019).

O processo de hidratação do gesso em gipsita é simples, mas o uso de aditivos pode alterar as características do material no estado fresco e endurecido, morfologicamente (MAGALLANES-RIVERA; ESCALANTE-GARCÍA; GOROKHOVSKY, 2009). Essa modificação nas propriedades das pastas de gesso influencia no arranjo dos cristais e na redução das propriedades mecânicas, causando uma repulsão eletrostática que alarga os cristais de di-hidrato, criando vazios na estrutura (MURAT; PUSZTASZERI; GREMION, 1979¹ *apud* ANTUNES, 1999; PAN; WANG, 2011).

Santos (2017) estudou o comportamento higrotérmico de paredes de gesso e elementos de fachada em locais de variedade climática, utilizando diferentes teores de hidrofugação. Os resultados mostraram possibilidade de aplicação do material apenas em locais com baixos índices de pluviosidade e de alta insolação.

Silva (2018) observou que a utilização do aditivo hidrofugante reduziu a absorção de água em pastas de gesso, ao mesmo tempo em que ocasionou a diminuição de propriedades físicas como resistência à compressão e dureza superficial.

Crateú (2017) analisou pastas de gesso de fundição produzidas com dois aditivos hidrofugantes para materiais cimentícios, obtendo resultados positivos quanto ao comportamento das pastas nos ensaios de absorção de água por imersão total e de capilaridade.

Silva *et al.* (2018) avaliaram as propriedades das pastas de gesso de fundição produzidas com aditivos hidrofugantes comerciais para gesso, as quais apresentaram redução das propriedades mecânicas (resistência à compressão e dureza), da absorção de água, além de alterações nos tempos de pega. Palha *et al.* (2011) atestam que a umidade, além de configurar um problema específico, atua como fator estimulante para a proliferação de diferentes agentes deteriorantes, tais como o aparecimento de manchas, a modificação da estrutura cristalina da gipsita, o aparecimento de sais solúveis na pasta e o desenvolvimento de mofo e fungos.

¹MURAT, M.; PUSZTASZERI, L.; GREMION, M. A preliminary survey of the correlation between the crystalline structure and hardened gypsum plasters. *Materials and Building Research*, v. 1, p. 264-271, 1979.

Essas patologias comprometem a eficiência do material, a qualidade do ambiente interno e a saúde dos usuários.

Através da caracterização estatística das manifestações patológicas mais recorrentes em 119 amostras de gesso aplicadas a paredes e tetos, Pereira *et al.* (2014) revelaram que a umidade foi a mais frequente, ocorrendo em 50% dos casos. Os problemas causados pela ação da água no gesso, como eflorescência, criptoflorescência e biodeterioração, além da própria umidade, aparecem entre os com maior urgência de reparo, uma vez que podem se propagar em partes adjacentes.

Tendo em vista a problemática decorrente da ação da água e da umidade sobre as pastas de gesso, o presente trabalho tem o objetivo de estudar a influência da adição de um aditivo hidrofugante comercial nas propriedades no estado fresco e endurecido das pastas de gesso de fundição.

Método

Materiais

Água

A água utilizada no preparo das pastas foi obtida em poço artesiano, e quando necessário o uso de água destilada, por determinação normativa, foi utilizado o destilador.

Gesso

Foi usado um hemihidrato beta de fundição, também conhecido como gesso rápido, proveniente do Polo Gesseiro do Araripe, de Araripina, PE. O gesso foi fornecido em 40 sacos plásticos de 1 kg, de um mesmo lote. As pastas foram produzidas em consistência normal, com relação água/gesso (a/g) de 0,61, e analisadas de acordo com os requisitos da NBR 13207 (Tabela 1) (ABNT, 2017a).

Aditivo hidrofugante

O hidrofugante utilizado é um aditivo de massa comercializado por empresa pernambucana, é incolor, possui densidade de 0,5 g/cm³ a 0,7 g/cm³ e validade de 12 meses. O material possui consistência fluida e aspecto translúcido. De acordo com as informações contidas na embalagem do produto, o aditivo deve ser diluído em água na proporção de 2 ml/kg de gesso, para uso em revestimento interno ou blocos, e de 3 ml/kg de gesso para uso em revestimento externo. O fabricante recomenda que a proporção do aditivo para a produção de blocos esteja entre 0,2% e 0,3%, em relação à massa de gesso. Nesta pesquisa foram utilizadas duas proporções do aditivo hidrofugante na faixa recomendada (0,25% e 0,3%) e dois teores fora da recomendação do fabricante (1,0% e 2,0%).

Métodos

Serão descritos os procedimentos para a caracterização física e mecânica do gesso e das pastas.

Variáveis analisadas

As propriedades físicas e mecânicas foram avaliadas em pastas de gesso com relação água/gesso (a/g) fixada a 0,80, buscando obter as características dos blocos de gesso produzidos comercialmente no Polo Gesseiro do Araripe (PE).

As pastas estão identificadas por GF referente à gesso de fundição, seguidas do tipo: R, para a pasta de referência, sem aditivos, e GFH1, GFH2, GFH3 e GFH4 para as pastas de gesso com diferentes teores do aditivo hidrofugante (Tabela 2).

Inicialmente, esta pesquisa avaliou as propriedades físicas e mecânicas das pastas de gesso apenas com os teores de hidrofugação pertencentes à faixa recomendada pelo fabricante, GFH1 e GFH2. Após a avaliação da absorção de água por imersão total, foram definidos dois teores fora da faixa recomendada, GFH3 e GFH4. Foram realizados os ensaios no estado fresco e endurecido com as proporções do aditivo que obtiveram os melhores resultados de absorção de água por imersão total.

Ensaio e procedimentos

Os ensaios e procedimentos foram realizados de acordo com as referências normativas brasileiras e internacionais, com o intuito de avaliar e comparar as características das pastas de gesso com e sem hidrofugante (Quadro 1).

Tabela 1 - Caracterização física e mecânica do gesso

Propriedade	Valor	Limite – NBR 13207 (ABNT, 2017a)
Consistência normal (a/g)	0,61 ± 0,00	-
Granulometria (%)	98,56 ± 0,11	≥ 90% passante ¹
Massa unitária (kg/m ³)	682,00 ± 10,00	≥ 600,0
Massa específica (g/cm ³)	2,51 ± 0,02	-
Tempo de início de pega (min.)	7,64 ± 0,16	≤ 10,00
Tempo de fim de pega (min.)	11,13 ± 0,53	≤ 20,00

Nota: ¹percentual passante na peneira de abertura 0,29 mm.

Tabela 2 - Matriz experimental da pesquisa

Pasta	Gesso	Aditivo hidrofugante	Relação água/gesso
Referência – sem aditivo			
GFR	100%	0,00%	0,80
Hidrofugado – com aditivo			
GFH1	100%	0,25 %	0,80
GFH2	100%	0,30 %	0,80
GFH3	100%	1,00 %	0,80
GFH4	100%	2,00 %	0,80

Quadro 1 - Ensaio e normas utilizados

Estado	Caracterização	Ensaio	Método	Material/Pasta
Pó	Física	Granulometria	NBR 12127 (ABNT, 2017b)	Gesso
		Massa específica	NM 23 (ABNT, 2000)	Gesso
		Massa unitária	NBR 12127 (ABNT, 2017b)	Gesso
Fresco	Física	Calor de hidratação	Pseudoadiabático (PINHEIRO, 2011)	GFR; GFH1; GFH3
		Consistência normal	NBR 12128 (ABNT, 2019a)	GFC
		Tempos de pega	NBR 12128 (ABNT, 2019a)	GFR; GFH1; GFH2; GFH3
Endurecido	Mecânica	Absorção de água por imersão total	NBR 16495 (ABNT, 2016)	GFR; GFH1; GFH2; GFH3; GFH4
		Absorção de água por capilaridade	C1794 (AMERICAN..., 2015)	GFR; GFH1; GFH2; GFH3
		Dureza superficial	NBR 16495 (ABNT, 2016)	GFR; GFH1; GFH3
		Resistência à compressão axial	NBR 12129 (ABNT, 2019b)	GFR; GFH1; GFH3

Resultados e discussões

Avaliação das pastas no estado fresco

Tempos de pega

Os tempos de início e fim de pega das pastas analisadas, juntamente com os requisitos máximos (Figura 1), são detalhados pela NBR 13207 (ABNT, 2017a).

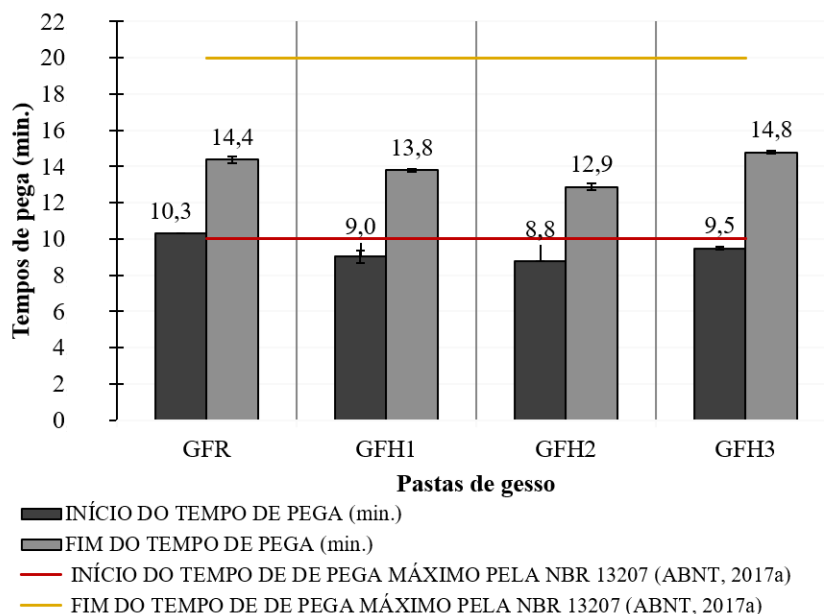
Considerando a pasta com teor de 0,25% de aditivo hidrofugante (GFH1), os tempos de início e fim de pega foram acelerados em 12,3% e 4,1%, respectivamente, em relação à pasta sem aditivo (GFR). Com o aumento do teor de hidrofugação para 0,30% (GFH2), os tempos de início e de fim de pega foram acelerados em 14,7% e 10,4%, respectivamente, quanto à pasta sem aditivo hidrofugante. Na pasta com teor de 1,0% (GFH3), verificou-se que o tempo de início de pega foi acelerado em 7,9%, enquanto o tempo de fim de pega foi retardado em 2,8%, em comparação à pasta de referência. O comportamento de pega da GFH3 diferiu das pastas com percentuais menores de hidrofugante, o que pode ser explicado pela extrapolação dos limites de uso indicados pelo fabricante do aditivo.

Os tempos úteis (tempo de fim de pega menos o tempo de início de pega) das pastas analisadas com aditivo hidrofugante aumentaram em relação à pasta de referência. Os tempos úteis aumentaram em 14,3%, 0,05% e 23,2% para as pastas GFH1, GFH2 e GFH3, respectivamente. Verificou-se que a pasta com teor 0,3% (GFH2) de aditivo hidrofugante obteve o menor tempo útil, indicando melhor aplicabilidade, visto que na fabricação de blocos de gesso não é necessário estender esse tempo, diferentemente das pastas de gesso para revestimento.

Sousa (2015) e Crateú (2017) analisaram o efeito de diferentes teores de aditivos hidrofugantes em pastas de gesso e, de acordo com os requisitos da NBR 13207 (ABNT, 1994), em que o início de pega era entre 4 e 10min e o fim de pega entre 20 e 45min, nenhuma das pastas atendeu às determinações estabelecidas. Porém, em relação à versão da NBR 13207 vigente, apenas os tempos de início de pega não foram atendidos (ABNT, 2017a). No estudo de Silva *et al.* (2018), as pastas de gesso foram avaliadas com dois aditivos hidrofugantes distintos, em que apenas uma das pastas atendeu ao requisito normativo no tempo de início de pega.

A formação mais rápida dos cristais de di-hidrato ocasiona o aumento da velocidade de endurecimento das pastas (SILVA *et al.*, 2021). A aceleração do tempo de fim de pega se torna vantajosa na produção de placas de gesso, reduzindo o tempo de desmolde das peças. Em relação aos resultados obtidos nesta pesquisa, verificou-se que as pastas analisadas com o aditivo hidrofugante atenderam satisfatoriamente aos requisitos normativos e apresentaram melhor desempenho aos obtidos por Sousa (2015) e Crateú (2017).

Figura 1 - Valores médios de tempos de início e fim de pega médios das pastas de gesso



Calor de hidratação

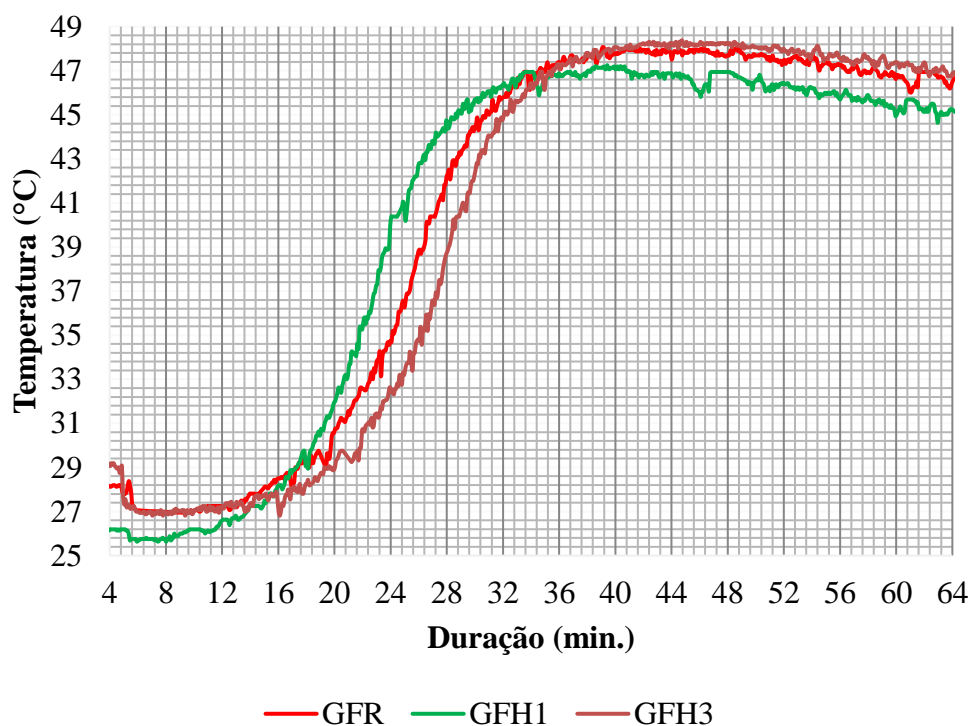
O ensaio de calor de hidratação foi feito em condições pseudoadiabáticas (Figura 2), conforme descrito por Pinheiro (2011).

As curvas de calor de hidratação apresentaram formato semelhante aos obtidos por Silva *et al.* (2018), Silva (2018), Santana (2018) e Pinheiro (2011), porém o deslocamento das curvas foi mais discreto, indicando menor variação dos tempos de pega entre os diferentes teores de aditivo (Figura 3).

Figura 2 - Ensaio pseudoadiabático de calor de hidratação



Figura 3 - Curvas de calor de hidratação das pastas de gesso



Tem-se que o aumento no teor de hidrofugação influenciou na redução da temperatura máxima das pastas e, conseqüentemente, na redução do tempo de fim de pega. As temperaturas máximas foram 47,4 °C, 47,0 °C e 45,2 °C para as pastas GFR, GFH1 e GFH3, respectivamente (Tabela 3).

Verifica-se que as pastas com os hidrofugantes tiveram os tempos de início de pega retardados e que o tempo de fim da pega manteve-se constante em relação às pastas de referência. No entanto, os tempos úteis foram reduzidos com o aumento do teor de hidrofugação.

A atividade cinética está diretamente ligada à hidratação do gesso, demonstrando o aceleração ou retardamento da cristalização da gipsita (FERREIRA, 2017). O aumento na proporção do aditivo também influenciou na redução da atividade cinética das pastas indicando uma variação da temperatura em relação à duração do ensaio. A pasta GFH3 obteve o menor valor de atividade cinética, 0,97 °C/min. Dada a adição e o aumento do percentual do aditivo, pode-se observar a redução da variação de temperatura e a conseqüente redução da atividade cinética, o que pode ter motivado o aumento do tempo de início de pega nas pastas hidrofugadas.

Em relação aos tempos de pega obtidos por meio do aparelho de Vicat, conforme a NBR 12128 (ABNT, 2019a), tem-se que os tempos de início de pega através do calor de hidratação são menores e que o fim de pega é maior. Conseqüentemente, os tempos úteis obtidos no calorímetro são maiores, conforme observado por Silva *et al.* (2018).

Silva *et al.* (2021) avaliaram pastas de gesso para contrapiso, verificaram que ocorreram diferenças entre os tempos de pega obtidos através do ensaio pelo aparelho de Vicat e o calorímetro pseudoadiabático. Os resultados comparativos podem ser observados na Tabela 4.

Silva *et al.* (2021) relataram que o ensaio de tempos de pega a partir das curvas de calor de hidratação permitem analisar a cinética química e as alterações físicas durante a hidratação das pastas, sem que haja interferência do operador. Os autores também indicam que o ensaio com o aparelho de Vicat pode facilitar a ocorrência de erros causados pela interação entre a agulha e os agregados ou cargas presentes nas misturas.

Quanto ao tempo útil de hidratação das pastas, pode-se observar um comportamento oposto. No ensaio usando o aparelho de Vicat, observa-se que o tempo útil aumentou com o aumento do teor de aditivo, enquanto no ensaio utilizando o calorímetro o tempo útil diminuiu. Tal fenômeno pode ter sido ocasionado por interferência do operador, como descrito por Silva *et al.* (2021).

Avaliação das pastas no estado endurecido

Absorção de água por imersão total

O ensaio de absorção de água por imersão total (Figura 4) foi realizado de acordo com a NBR 16495 (ABNT, 2016).

Os valores obtidos no ensaio de absorção de água por imersão total das pastas (Figura 5) foram analisados de acordo com os requisitos da NBR 16494 (ABNT, 2017c).

Observa-se que a pasta com o menor teor do aditivo (GFH1) apresentou a absorção de água próxima à da pasta sem aditivo (GFR), menor em 4,3%. A pasta com teor de aditivos 0,3% (GFH2) apresentou redução na absorção em 9,8%, comparada à pasta de referência.

Tabela 3 - Temperaturas e atividades cinéticas das pastas de gesso

Pasta	Parâmetro	Tempos de pega		Tempo útil (min.)	ΔT (°C)	Atividade cinética (°C/min.)
		Início	Fim			
GFR	Temper. (°C)	27,7	47,4	17,92	19,7	1,10
	Duração (min.)	6,05	23,97			
GFH1	Temper. (°C)	28,9	47,0	17,91	18,1	1,01
	Duração (min.)	6,07	23,98			
GFH3	Temper. (°C)	28,0	45,2	17,75	17,2	0,97
	Duração (min.)	6,23	23,98			

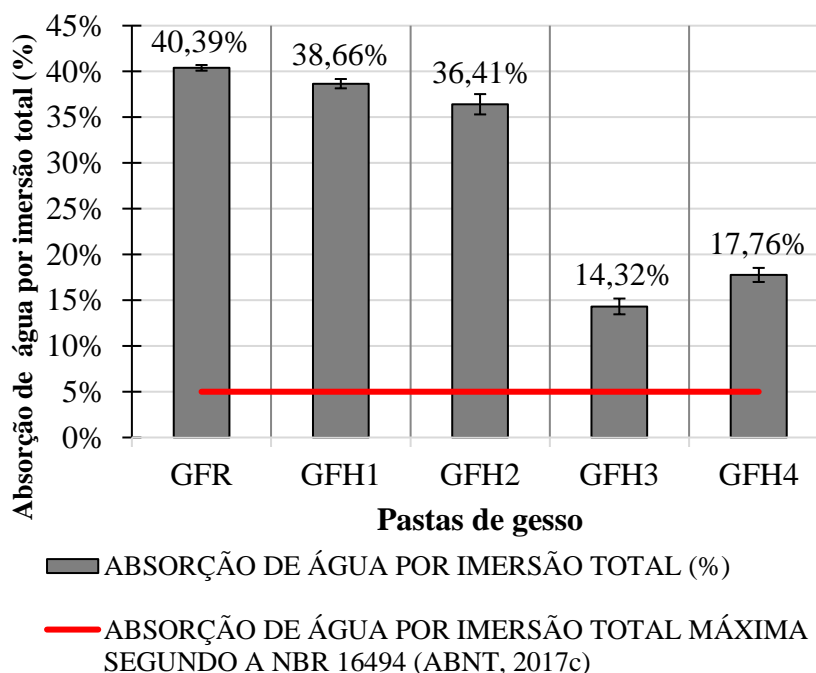
Tabela 4 - Comparativo dos métodos utilizados para tempos de pega

Pasta	Aparelho de Vicat			Calorímetro pseudoadiabático		
	Início de pega (min.)	Fim de pega (min.)	Tempo útil (min.)	Início de pega (min.)	Fim de pega (min.)	Tempo útil (min.)
GFR	10,3	14,4	4,1	6,05	23,97	17,92
GFH1	9,0	13,8	4,8	6,07	23,98	17,91
GFH3	9,5	14,8	5,3	6,23	23,98	17,75

Figura 4 - Ensaio de absorção de água por imersão total



Figura 5 - Valores médios de absorção de água por imersão total das pastas de gesso



Nas pastas com os teores de hidrofugação fora da faixa recomendada verificou-se comportamento distinto. A pasta com 1,0% de aditivo (GFH3) obteve o menor valor de absorção, com redução de 64,5% em relação à de referência. Já a pasta GFH4, com o maior teor do aditivo, apresentou diminuição de absorção de água de 56,0% sobre a de referência; no entanto, foi maior em relação à GFH3. Observa-se que o aumento no teor de hidrofugação resultou no aumento da absorção de água por imersão total, nas amostras com extrapolação do teor para além da indicação do fabricante.

A NBR 16494 (ABNT, 2017c) determina que a absorção de água, após 120 minutos de imersão total, seja no máximo 5%. Nenhuma pasta analisada atendeu ao requisito normativo, inclusive na faixa recomendada pelo fabricante do aditivo. Tem-se que houve o aumento da absorção de água na pasta com 2,0% do aditivo, indicando que o teor ótimo do hidrofugante está abaixo deste valor.

Sousa (2015) mostrou que a absorção de água por imersão total diminuiu significativamente, de 49,4% na pasta sem aditivo para 18,6% com o maior teor de aditivo, com valor de adição em 0,4%.

Através dos estudos realizados por Silva (2018), com diferentes teores de hidrofugação, foi observado, em relação à absorção de água por imersão total, que os aditivos também não proporcionaram o efeito adequado reduzindo a absorção de água, em que, em algumas pastas com o aditivo, a absorção foi maior que a pasta de referência, sendo um aspecto negativo. O teor que apresentou o melhor resultado foi o de 1,0%, reduzindo a absorção de água de 32,8% para 30,4%.

Silva *et al.* (2018) analisaram a absorção de água por imersão total em diferentes proporções de aditivo hidrofugante e concluiu que, com o aumento do teor do aditivo, houve a redução da absorção de água por imersão total, em que o maior teor do aditivo, 0,60%, proporcionou uma absorção de 9,8%, tendo a pasta sem aditivo apresentado 35,2% de absorção.

Constata-se que o aditivo utilizado nesta pesquisa não possui boa eficiência em termos de absorção de água por absorção total em relação aos parâmetros mínimos exigidos em norma, quando aplicados nos percentuais indicados pelo fabricante. É possível inferir que o teor ótimo de aditivo para absorção de água pode estar acima de 0,3% e abaixo de 2,0%, uma vez que 1,0% exibiu o melhor resultado.

Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado conforme a norma americana C1794 (AMERICAN..., 2015), por meio do qual foi possível determinar o coeficiente de capilaridade das pastas (Figura 6).

A pasta de referência obteve um comportamento diferente das pastas com o aditivo hidrofugante, apresentando um crescimento acelerado na absorção de água na primeira hora de ensaio e constância próximo aos 120 minutos ou $84,85 \text{ s}^{1/2}$, classificado como Tipo B. Verificou-se que a água atingiu a superfície superior do corpo de prova antes de finalizar o ensaio (Figura 7).

As pastas produzidas com o aditivo hidrofugante apresentaram uma absorção de água lenta e crescente ao longo do ensaio sem alcançar a superfície superior dos corpos de prova, classificado como Tipo A. Constatou-se que a pasta GFH3 apresentou o menor valor de absorção de água por capilaridade, em relação à pasta de referência.

Os valores dos coeficientes de absorção de água por capilaridade das pastas também foram avaliados segundo a C1794 (AMERICAN..., 2015) (Figura 8).

A Norma DIN 52617² *apud* Santos (2017) classifica os materiais de construção em função do coeficiente de absorção de água por capilaridade (Quadro 2).

Nota-se que a pasta de referência é classificada como de sucção rápida, juntamente com a pasta de menor teor de aditivo, GFH1, também classificada como de sucção rápida, apesar de ter o coeficiente de absorção reduzido em 88,2%, em relação à pasta sem aditivo.

A pasta na faixa intermediária de teor de aditivo, GFH2, é classificada como de sucção rápida, apesar de apresentar redução de 91,3% comparada à pasta de referência. No caso da pasta com o teor de aditivo fora da faixa recomendada pelo fabricante, GFH3, foi classificada como preventiva à água, indicando maior resistência à absorção capilar de água que condiz com menor absorção por imersão total, em comparação com a pasta sem o aditivo. A pasta GFH3 apresentou redução de 98,2% no coeficiente de absorção de água por capilaridade.

Sousa (2015) analisou a absorção de água por capilaridade das pastas de gesso através da NBR 9779 (ABNT, 1995), constatando que os teores de 0,2% e 0,4% de aditivo hidrofugante resultaram na redução em 77,8% e 92,2% após 24h de ensaio.

²DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 52617: determination of the water absorption coefficient of construction materials. Berlin, 1987.

Figura 6 - Ensaio de absorção de água por capilaridade

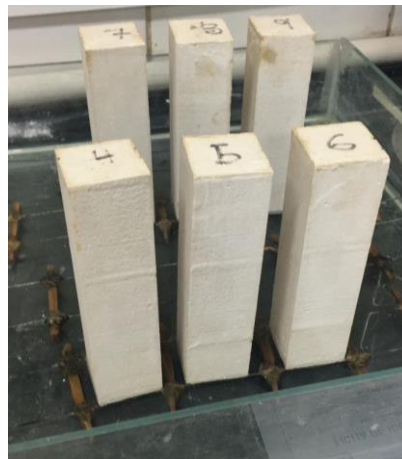


Figura 7 - Curvas de absorção de água por capilaridade das pastas de gesso

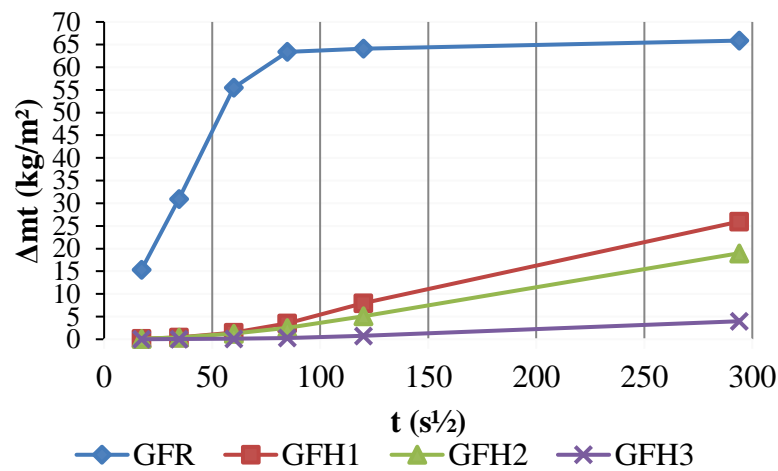
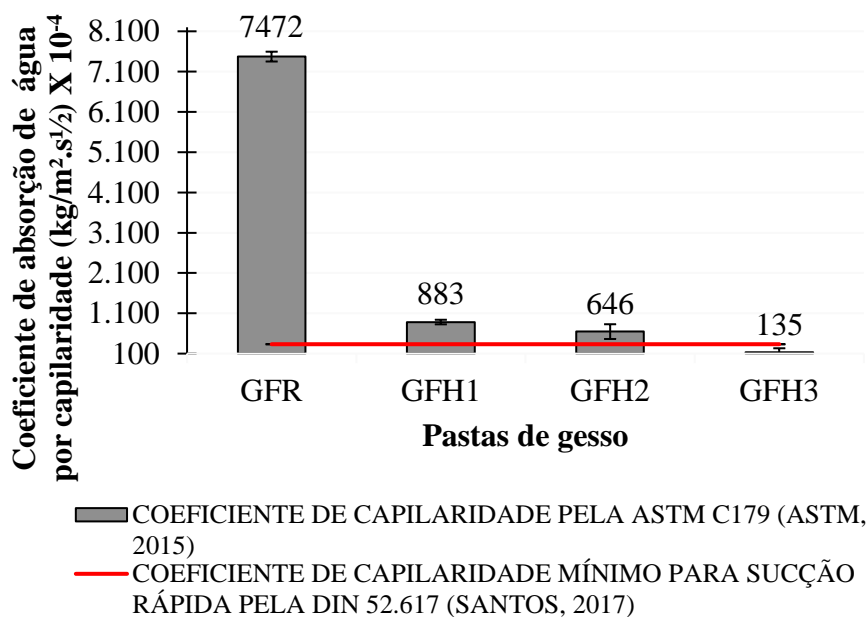


Figura 8 - Valores dos coeficientes de absorção de água por capilaridade (AMERICAN..., 2015)



Quadro 2 - Classificação dos materiais quanto à absorção de água por capilaridade

Coefficiente de absorção – A_w	Classificação
$A_w > 333 \times 10^{-4}$ ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$)	Sucção rápida
$A_w < 333 \times 10^{-4}$ ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$)	Preventivo à água
$A_w < 83,3 \times 10^{-4}$ ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$)	Quase impermeável
$A_w < 0,167 \times 10^{-4}$ ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$)	Impermeável

Estudos realizados por Silva (2018), utilizando dois aditivos hidrofugantes comerciais, apontaram que todas as pastas analisadas possuem comportamento de sucção rápida, indicando que os aditivos não atuam de forma satisfatória na formação da barreira impermeabilizante, mesmo utilizando as proporções recomendadas pelo fabricante, de 0,2%, 0,6%, 0,8% e 1,0%.

Os valores apresentados apontam uma melhora nos resultados em relação aos de Silva (2018), uma vez que o mesmo teor de 1,0% obteve classificação diferente, passando de “sucção rápida” para “preventivo à água”.

Dureza superficial

O ensaio de dureza superficial das pastas de gesso seguiu a metodologia descrita na NBR 16495 (ABNT, 2016) (Figura 9), e a análise dos requisitos de acordo com a NBR 16494 (ABNT, 2017c), utilizando um durômetro SHORE C.

De acordo com os requisitos normativos da NBR 16494 (ABNT, 2017c), todas as pastas estudadas classificam-se como de dureza superficial média. Observa-se que o aumento no teor de hidrofugação reduziu o valor médio da dureza superficial em 2,2% e 6,2% para as pastas GFH1 e GFH3, respectivamente. Em relação ao requisito da norma francesa CEN/TC241, verifica-se que todas as pastas atenderam ao critério de, no mínimo, 60 u.s.c (ASSOCIATION..., 1991).

A NBR 16494 (ABNT, 2017c) classifica a dureza superficial de blocos de gesso em geral (Tabela 5).

Santos (2017) analisou a dureza superficial de blocos de gesso com aditivos hidrofugantes, obtendo os valores de 79,1 u.s.c e 75,8 u.s.c. para os teores de hidrofugação de 0,1% e 0,3%, respectivamente, observando que o aumento da hidrofugação causa a redução da dureza superficial.

Utilizando as especificações da NBR 13207 (ABNT, 2017a) como diretrizes para o ensaio, Silva *et al.* (2018) observaram que as pastas com aditivo hidrofugante tiveram redução da dureza superficial em comparação com a pasta sem aditivo. Apenas as pastas de referência e com 1,0% de aditivo atenderam ao requisito normativo, com dureza de 22,7 N/mm² e 20,1 N/mm², respectivamente (SILVA *et al.*, 2018).

Assim como observado nos estudos de Santos (2017), esta pesquisa também obteve resultados de dureza superficial satisfatórios, uma vez que atenderam ao requisito mínimo de dureza da NBR 16494 (ABNT, 2017c) e da norma francesa CEN/TC 241 (ASSOCIATION..., 1991). A utilização do aditivo hidrofugante pode ter resultado na modificação da morfologia, reduzindo a porosidade dos cristais de di-hidrato causada pela repulsão eletrostática do aditivo, como ocorrido em Silva *et al.* (2021).

Resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado de acordo com a NBR 12129 (ABNT, 2019b). A versão vigente da NBR 13207 não apresenta requisito mínimo de resistência à compressão, por isso os resultados serão analisados de acordo com a versão anterior da NBR 13207, publicada no ano de 1994 (Figura 10) (ABNT, 1994, 2017a).

Observa-se que as pastas com os teores de hidrofugação 0,25% e 1,0% tiveram diminuição de 3,6% na resistência à compressão, em relação à pasta sem o aditivo; contudo, o aumento no teor do hidrofugante não influenciou na resistência à compressão das pastas. A NBR 13207 (ABNT, 1994) indica o valor de 8,4 MPa como requisito mínimo de resistência. Apenas a pasta de referência (GFR) atendeu a esse requisito.

Santos (2017) analisou a resistência à compressão de blocos de gesso com aditivo hidrofugante e observou que o aumento do teor de aditivo, de 0,1% para 0,3%, causou diminuição de 5,6 MPa para 4,7 MPa (16,6%).

Ao analisar a resistência à compressão de pastas de gesso hidrofugadas, Silva *et al.* (2018) verificaram que a presença do aditivo atuou diminuindo a resistência das pastas hidrofugadas, em relação à pasta de referência. Apenas as pastas de referência e a de menor teor (0,6%) atenderam ao requisito mínimo de 8,4 MPa de resistência à compressão, com 9,7 MPa e 8,4 MPa, respectivamente.

Figura 9 - Valores médios de dureza superficial das pastas de gesso (ASSOCIATION..., 1991)

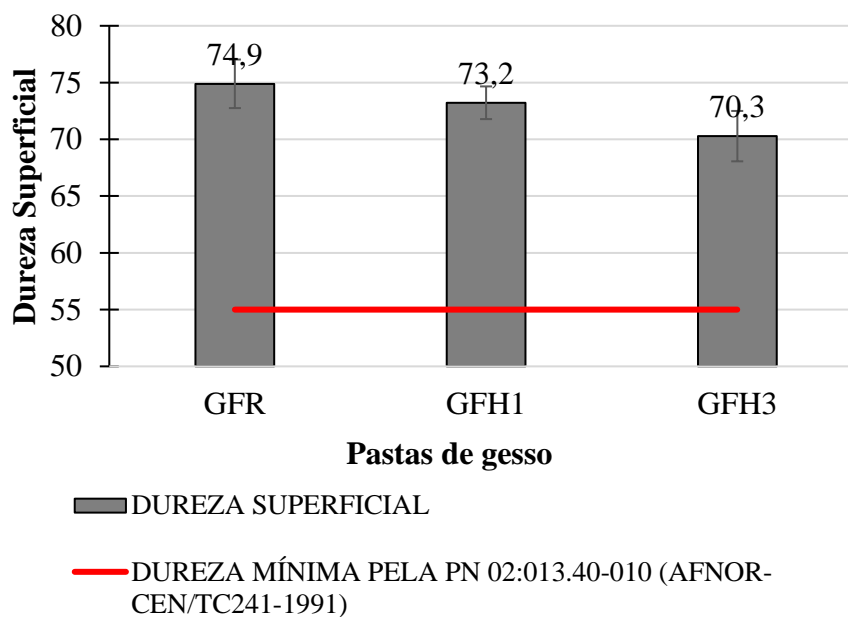
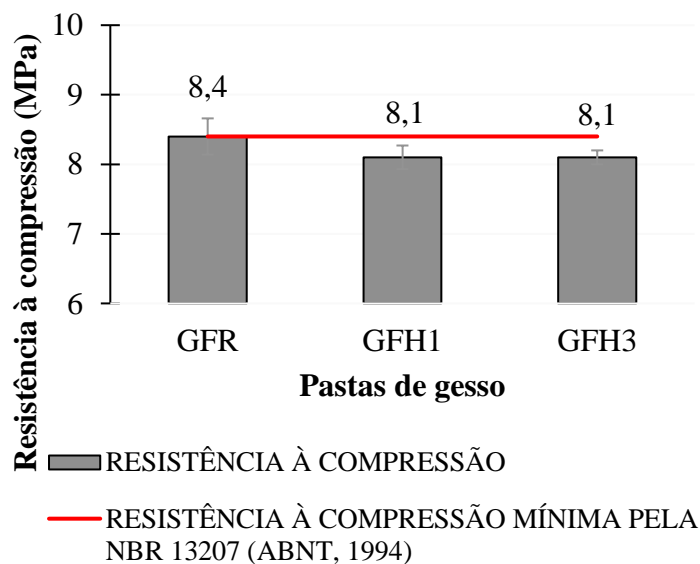


Tabela 5 - Classificação de dureza para blocos em geral

Classificação	Dureza Shore C
Alta dureza	≥ 80
Média dureza	≥ 55 e < 80
Baixa dureza	≥ 40 e < 55

Fonte: NBR 16494 (ABNT, 2017c).

Figura 10 - Valores médios de resistência à compressão



A avaliação da resistência à compressão com aditivo hidrofugante realizada por Sousa também indicou que o aditivo reduziu esta propriedade obtendo os valores de 5,2 MPa e 5,5 MPa para os teores de 0,2% e 0,4%, respectivamente.

O aditivo hidrofugante utilizado nesta pesquisa atuou de forma negativa quanto a resistência à compressão, assim como nos estudos de Silva *et al.* (2018), Santos (2017) e Sousa (2015). Tal fenômeno pode ter ocorrido devido ao aumento da porosidade, como descrito na propriedade de dureza superficial.

Conclusões

Após a análise dos resultados obtidos, é possível concluir que:

- (a) as pastas de gesso foram produzidas com a incorporação de aditivo hidrofugante em 0,25%, 0,3%, 1,0% e 2,0%, com relação a/g de 0,80;
- (b) o aditivo hidrofugante diminuiu o tempo de início de pega das pastas, enquanto o fim da pega manteve-se constante. Quanto maior o teor de hidrofugação menor foi a atividade cinética das pastas;
- (c) o aditivo reduziu a absorção de água por imersão total, nenhuma pasta atendeu ao requisito normativo de 5,0% de absorção. A menor absorção de água foi obtida para a pasta com 1,0% de aditivo. As pastas GFR, GFH1 e GFH2 foram classificadas como de sucção rápida, enquanto a pasta com o maior teor, GFH3, apresentou comportamento classificado como preventivo à água; e
- (d) o aumento do teor de hidrofugação influenciou na redução da dureza superficial, todas as pastas atenderam aos requisitos normativos. O aditivo proporcionou a redução da resistência à compressão, apenas a pasta sem aditivo atendeu ao critério normativo. O hidrofugante pode ter ocasionado alterações morfológicas nos cristais de gesso e no arranjo das partículas, refletindo na redução das propriedades mecânicas.

Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **C1794**: standard test methods for determination of the water absorption coefficient by partial immersion. New York, 2015.
- ANTUNES, R. P. N. **Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso**. São Paulo, 1999. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12127**: gesso para construção civil: determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 2017b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12128**: gesso para construção civil: determinação das propriedades físicas da pasta de gesso. Rio de Janeiro, 2019a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12129**: gesso para construção civil: determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 2019b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: gesso para construção civil: requisitos. Rio de Janeiro, 2017a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: gesso para construção civil: requisitos. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16494**: blocos de gesso para vedação vertical: requisitos. Rio de Janeiro, 2017c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16495**: bloco de gesso para vedação vertical: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779**: argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NM 23**: cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **CEN/TC 241**: plâtres et produits à base de plâtre. Paris, 1991.
- CASTRO, C. *et al.* Avaliação microestrutural e de desempenho de aditivo hidrofugante para concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., Porto Alegre, 2020. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

- CRATEÚ, T. L. C. **Avaliação dos efeitos, nas propriedades do gesso, provocados pela incorporação de aditivo impermeabilizante.** Juazeiro, 2017. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2017.
- FERREIRA, F. C. **Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe.** Recife, 2017. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.
- HEIM, D. *et al.* Influence of Tylose MH1000 content on gypsum thermal conductivity. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 30, n. 3, p. 04018002, 2018.
- KONDRATIEVA, N. *et al.* Study of modified gypsum binder. **Construction and Building Materials**, v. 149, p. 535-542, 2017.
- LI, J.; LI, G.; YU, Y. The influences of gypsum water-proofing additive on gypsum crystal growth. **Materials Letters**, v. 61, n. 3, p. 872-876, 2007.
- MAGALLANES-RIVERA, R. X.; ESCALANTE-GARCÍA, J. I.; GOROKHOVSKY, A. Hydration reactions and microstructural characteristics of hemihydrate with citric and malic acid. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 3, p. 1298-1305, 2009.
- MEDEIROS, M. P. **Desempenho térmico de blocos de vedação com o uso de gesso e de resíduos poliméricos.** João Pessoa, 2016. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.
- PALHA, F. *et al.* Effect of water on the degradation of gypsum plaster coatings: Inspection, diagnosis, and repair. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 26, n. 4, p. 424-432, 2011.
- PAN, W.; WANG, P. Effect of compounding of sodium tripolyphosphate and super plasticizers on the hydration of α -calcium sulfate hemihydrate. **Journal of Wuhan University of Technology, Materials Science Edition**, v. 26, n. 4, p. 737-744, 2011.
- PANCHENKO, A. I.; KOZLOV, N. Water-resistant gypsum binder. In: MATEC WEB OF CONFERENCES, 86., Moscow, 2016. **Proceedings [...]** Moscow: EDP Sciences, 2016.
- PEREIRA, A. *et al.* Diagnosis and repair of gypsum plaster coatings: statistical characterization and lessons learned from a field survey. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 20, n. 4, p. 485-496, 2014.
- PINHEIRO, S. M. M. **Gesso reciclado: avaliação das propriedades para uso em componentes.** Campinas, 2011. 329 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- SANTANA, C. V. **Avaliação de desempenho de blocos fabricados com gesso reciclado em processo industrial.** Recife, 2018. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 2018.
- SANTOS, A. N. **Comportamento higrotérmico de paredes em gesso: avaliação da adequabilidade a zonas climáticas do Brasil.** Porto, 2016. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2017.
- SILVA, D. B. P. **Efeito do aditivo hidrofugante nas propriedades e na durabilidade das pastas de gesso de fundição.** Juazeiro, 2018. 109 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2018.
- SILVA, D. B. P. *et al.* Avaliação da influência do aditivo hidrofugante nas pastas de gesso de fundição. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., Foz do Iguaçu, 2018. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2018.
- SILVA, D. B. P. *et al.* Pasta autonivelante de gesso para utilização como camada de contrapiso. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 311-329, abr./jun. 2021.
- SOUSA, P. R. C. **Avaliação das propriedades do gesso hemidrato aditivado de composto hidrófugo.** Juazeiro, 2015. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2015.
- WINCKLER, V. L. **Estudo comparativo de custo e produtividade entre sistemas de vedação com bloco cerâmico e bloco de gesso.** Curitiba, 2019. 37 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Gerenciamento de Obras) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

WU, H. *et al.* Improvement on mechanical strength and water absorption of gypsum modeling material with synthetic polymers. **Ceramics International**, v. 40, n. 9, p. 14899-14906, 2014.

YAKOVLEV, G. *et al.* Anhydrite and gypsum compositions modified with ultrafine man-made admixtures. **Procedia Engineering**, v. 108, p. 13-21, 2015.

Karina Paula Barbosa de Andrade Lima

Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Validação de dados e experimentos, Redação do manuscrito original.

Departamento de Tecnologia Rural | Universidade Federal Rural de Pernambuco | Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos | Recife - PE - Brasil | CEP 52171-900 | Tel.: (81) 99873-5937 | E-mail: karinandranelima@gmail.com

Daniel Bruno Pinto da Silva

Conceitualização, Metodologia, Supervisão, Design da apresentação de dados, Redação - revisão e edição.

Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de Pernambuco | Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária | Recife - PE - Brasil | CEP 50670-901 | Tel.: (81) 98857-4490 | E-mail: daniel.brunosilva@ufpe.br

Ana Luiza Xavier Cunha

Curadoria de dados, Análise de dados, Design da apresentação de dados, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia e Gestão de Recursos Naturais | Universidade Federal de Campina Grande | Rua Aprígio Veloso, 882, Universitário | Campina Grande - PB - Brasil | CEP 58429-900 | Tel.: (81) 99753-4654 | E-mail: analuizaxcunha@gmail.com

Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti

Redação - revisão e edição.

Departamento de Tecnologia Rural | Universidade Federal Rural de Pernambuco | Tel.: (11) 97099-4617 | E-mail: kyrialem@yahoo.com.br

Felipe Bezerra de Lima

Curadoria de dados, Redação - revisão e edição.

Departamento de Tecnologia Rural | Universidade Federal Rural de Pernambuco | Tel.: (81) 98604-2554 | E-mail: felipelimafbl@hotmail.com

Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo

Supervisão, Redação - revisão e edição.

Departamento de Tecnologia Rural | Universidade Federal Rural de Pernambuco | Tel.: (81) 99699-5290 | E-mail: fernanda.wanderley@ufrpe.br

Romildo Morant de Holanda

Supervisão, Redação - revisão e edição.

Departamento de Tecnologia Rural | Universidade Federal Rural de Pernambuco | Tel.: (81) 99980-9803 | E-mail: romildo.morant@ufrpe.br

Yêda Vieira Póvoas

Conceitualização, Metodologia, Administração do projeto, Disponibilização de ferramentas, Supervisão, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia Civil Universidade de Pernambuco | Rua Benfica, 455, Madalena | Recife - PE - Brasil | CEP 50720-001 | Tel.: (81) 99976-0859 | E-mail: yyp@poli.br

Editor do artigo: **Marcelo Henrique Farias de Medeiros**

Editores de seção: **Ercília Hitomi Hirota e Juliana Parise Baldauf**

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.