OS EFEITOS DO USO COMBINADO DE CRISTALIZANTE E CAL HIDRATADA NAS PROPRIEDADES DE PASTAS DE GESSO

Tema: Tecnologia dos materiais

JÉSSICA C. QUEIROZ[1], VANESSA S. SILVA[2], CLEBER MARCOS R. DIAS[3]

[1]Pós-graduanda, Universidade Federal da Bahia/UFBA, Jessica_queiroz22@outlook.com
[2] Profª. Dra., Universidade Federal da Bahia/UFBA, vanessass@ufba.br
[3] Prof. Dr., Universidade Federal da Bahia/UFBA, cdias@ufba.br

RESUMO

Visando a aplicação futura em revestimentos a base de gesso resistentes à ação da água, este estudo avalia os efeitos do uso combinado de cristalizante e da cal hidratada nas propriedades de pastas de gesso. Das pastas preparadas com diferentes relações água/gesso (a/g) e diferentes teores de cristalizante e cal foram determinados a dureza (**D**), as resistências à tração ($\mathbf{R_t}$) e compressão ($\mathbf{R_c}$), a porosidade (η) e o ângulo de contato (θ_C). O cristalizante promoveu o aumento de θ_C, enquanto a cal diminuiu η e promoveu o aumento da **D**. As adições mostraram-se promissoras para maior resistência à ação da água.

Palavras-chave: Gesso, cristalizante, hidrofobicidade, ângulo de contato.

THE EFFECTS OF COMBINED USE OF CRYSTALLIZERS AND HYDRATED LIME ON THE PROPERTIES OF GYPSUM PASTE.

ABSTRACT

Aiming for future application in water-resistant gypsum-based rendering or plastering, this study examines the impact of using crystallizers and hydrated lime on the properties of gypsum pastes. Various pastes were created with different water-to-gypsum ratios and varying amounts of crystallizers and lime. The study measured several properties of the pastes, including hardness (**D**), tensile strength ($\mathbf{R_t}$), compressive strength ($\mathbf{R_c}$), porosity ($\mathbf{P_a}$) and contact angle (θ_C). Using crystallizers increased both the θ_C. On the other hand, lime decreased η and increased **D**. The additions proved promising for greater resistance to water action.

Key-words: Gypsum plaster, crystallizer, hydrophobicity, contact angle.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de ligantes tradicionais, como gesso e cal, em argamassas visa reduzir o impacto ambiental causado pela indústria de cimento[1]. O gesso é considerado um material de baixo consumo energético[2], reciclável ilimitadamente[3], de baixa emissão de CO_2 associada. No entanto, as misturas a base de gesso apresentam baixa resistência à ação da água após o endurecimento[4], [5], o que impede a sua utilização em ambientes externos e úmidos. Dentro desse contexto, estudos investigaram a incorporação de adições, visando melhorar suas propriedades mecânicas e resistência à ação da água[5], [6], [7].

Uma alternativa não explorada é aplicação de cristalizantes, que são comumente empregados em concretos e argamassas para impermeabilização por meio do mecanismo de bloqueio de poros e microfissuras, com a formação de compostos cristalinos insolúveis. Este artigo, avalia a influência do cristalizante em combinação com a cal CH-I nas propriedades mecânicas e físicas de pastas de gesso, empregando-se um projeto estatístico de mistura. Os resultados buscam contribuir para desenvolver revestimentos à base de gesso com melhor resistência à água e desempenho mecânico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Neste estudo foram empregados os seguintes materiais: gesso de fundição, aditivo cristalizante, cal CH-I e água. O gesso utilizado apresentou consistência normal de 0,61, início de pega aos 9 min e 53 s, fim de pega aos 18 min e 23 s[8] e densidade, igual a 2,59 g/cm^3, determinada utilizando-se um picnômetro a gás hélio da Micromeritics, modelo Accu Pyc II 1340. O cristalizante apresentou densidade igual a 2,81 g/cm^3 e a cal CH-I, igual a 2,36 g/cm^3.

Na análise de raios-X, utilizou-se um difratômetro de raios-X Bruker, modelo D2 Phaser, com tubo de alvo de cobre de 30 kV e 10 mA. Os espectros de difração foram obtidos à taxa de 0,1°/s. Na análise de raios-X do gesso, foram identificados picos de bassanita (B) ($CaSO_4.0{,}5H_2O$) e de anidrita (A) ($CaSO_4$). Da cal CH-I, foram identificados os picos de portlandita (P) ($Ca(OH)_2$) e calcita (C) ($CaCO_3$). A presença dos picos de calcita ($CaCO_3$) se deve ao uso de adições[9] e, possivelmente, a calcinação incompleta do calcário. Do cristalizante foram identificados picos da fase alita (C_3S), belita (C_2S), calcita ($CaCO_3$), portlandita ($Ca(OH)_2$) e ferroaluminato tetracálcico (C_4AF). Essas fases cristalinas apontam que o aditivo cristalizante tem compostos do cimento Portland em sua composição, o que pode causar, a depender do teor empregado, a formação de compostos expansivos e consequente fissuração das pastas.

2.2. Projeto experimental

Foram estabelecidas vinte e três formulações de base para o projeto experimental de mistura no *software Design-Expert®* com algoritmo *I-Optimal Design* (

Tabela *1*). As respostas experimentais deste estudo foram a dureza (D), as resistências à compressão (R_C), e à tração na flexão (R_T), a porosidade (η) e o ângulo de contato (θ_C).

Os corpos de prova de gesso prismáticos (40 x 40 x 160) mm³ foram moldados conforme a metodologia convencional[10] e após 24 horas, foram colocados em estufa a 45 °C até atingir constância de massa após 8 dias. Os ensaios para caracterização mecânica foram realizados em uma prensa INSTRON, modelo 23-5D, com célula de carga de 5 kN. Os procedimentos para determinação da dureza superficial, resistência à tração na flexão e resistência à compressão foram adaptados[10], [11].

A porosidade foi determinada empregando-se a Equação 1.

$$\eta = \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{real}}\right).100 \quad (1)$$

em que, ρ_{ap} é a densidade aparente, ρ_{real} é a densidade real determinada por picnometria a gás hélio em um picnômetro Micromeritics, modelo Accu Pyc II 1340.

A determinação do ângulo de contato foi realizada por meio da análise de imagens no *software ImageJ* de uma gota de água com volume de 100 µl depositada sobre a superfície das amostras, imediatamente após o contato entre a gota e a superfície da amostra (t = 0 s).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As propriedades obtidas para as formulações estabelecidas no projeto de mistura são apresentadas na

Tabela *1*. Os modelos empregados para ajuste das propriedades das pastas em função das frações mássicas dos componentes são apresentados na Tabela 2.

De acordo com a análise da superfície de respostas a dureza e as resistências à compressão e à tração não foram significantemente (α= 0,05) afetadas pela X_C, e seguiram a tendência esperada de redução com o aumento da relação água/gesso. Por outro lado, sendo X_C fixado em 0,024, a dureza apresentou aumento significante com aumento de X_{CHI} (Figura 1a), que não apresentou influência nas resistências à compressão e à tração. Quanto à porosidade, X_C não influenciou significantemente, no entanto, foi possível observar que, ao manter X_C fixado em 0,024, o aumento da fração de X_{CHI} resulta na redução da porosidade do gesso (Figura 1b).

O ângulo de contato não foi significativamente afetado pela X_{CHI}. Já em relação a X_C, é possível observar na Figura 2 que o aumento do θ_C é obtido com o aumento de X_C, mantendo-se X_{CHI} constante no valor do centroide do projeto experimental (0,14). Entretanto, vale salientar que os maiores valores obtidos para os ângulos de contato ainda classificam o material como hidrofílico.

Tabela 1 - Formulações do projeto de mistura com o cristalizante e propriedades do gesso.

Formulações	Frações mássicas					Propriedades				
	X_G	X_C	X_{CHI}	X_{H2O}	X_{H2O}/X_G	D (N/mm²)	R_T (MPa)	R_C (MPa)	η (%)	θ_C (°)
1*	0,5220	0,0240	0,0500	0,4040	0,7739	25,10	3,52	8,98	60,80	51,00
2	0,4858	0,0000	0,1329	0,3813	0,7849	27,58	3,40	11,09	69,37	60,50
3	0,5358	0,0000	0,1042	0,3600	0,6719	35,20	4,55	13,30	*65,76*	*Outlier***
4	0,5358	0,0000	0,1042	0,3600	0,6719	41,90	4,20	13,20	68,21	56,00
5	0,4525	0,0456	0,0877	0,4143	0,9156	17,26	2,84	7,06	59,82	73,50
6*	0,5220	0,0240	0,0500	0,4040	0,7739	27,29	2,98	9,42	68,40	57,00
7	0,5084	0,0500	0,0000	0,4416	0,8687	12,91	3,07	6,83	*55,05*	*Outlier***
8	0,4500	0,0299	0,0601	0,4600	1,0222	11,23	2,25	5,41	58,47	61,50
9	0,4500	0,0000	0,1225	0,4275	0,9499	19,00	2,21	7,59	70,93	56,00
10	0,5900	0,0500	0,0000	0,3600	0,6102	32,64	5,69	14,18	59,90	82,50
11*	0,5220	0,0240	0,0500	0,4040	0,7739	21,92	3,28	9,55	65,62	66,50
12	0,5400	0,0000	0,0000	0,4600	0,8519	10,62	2,73	6,65	*58,95*	*Outlier***
13	0,4500	0,0129	0,1771	0,3600	0,8000	31,01	3,16	8,70	*63,68*	*Outlier***
14	0,4595	0,0500	0,1191	0,3714	0,8084	25,99	3,37	8,79	61,66	52,00
15*	0,5220	0,0240	0,0500	0,4040	0,7739	23,25	3,43	8,61	60,12	62,00
16	0,5071	0,0500	0,0829	0,3600	0,7099	30,14	4,52	11,04	59,09	73,50
17	0,4816	0,0500	0,0434	0,4250	0,8825	15,86	2,68	6,93	61,28	71,00
18	0,4500	0,0299	0,0601	0,4600	1,0222	11,26	2,46	4,97	50,50	69,00
19*	0,5220	0,0240	0,0500	0,4040	0,7739	22,09	3,98	9,14	56,46	58,00
20	0,6000	0,0000	0,0000	0,4000	0,6667	23,48	4,47	11,17	*59,98*	*Outlier***
21	0,4979	0,0000	0,0421	0,4600	0,9238	14,56	2,79	7,09	*60,70*	*Outlier***
22	0,5084	0,0500	0,0000	0,4416	0,8687	13,61	3,00	6,78	55,80	86,00
23	0,5717	0,0254	0,0429	0,3600	0,6297	30,43	4,66	13,53	65,53	59,00
Mínimo	**0,4500**	**0,0000**	**0,0000**	**0,3600**	**0,6102**	**10,62**	**2,21**	**4,97**	**50,50**	**51,00**
Máximo	**0,6000**	**0,0500**	**0,1771**	**0,4600**	**1,0222**	**41,90**	**5,69**	**14,18**	**70,93**	**86,00**

Obs.: *Formulação do centroide; **Outlier - valor considerado espúrio.

Fonte: OS AUTORES, 2023

Tabela 2 - Modelos empregados para ajuste das propriedades das pastas em função das frações mássicas dos componentes

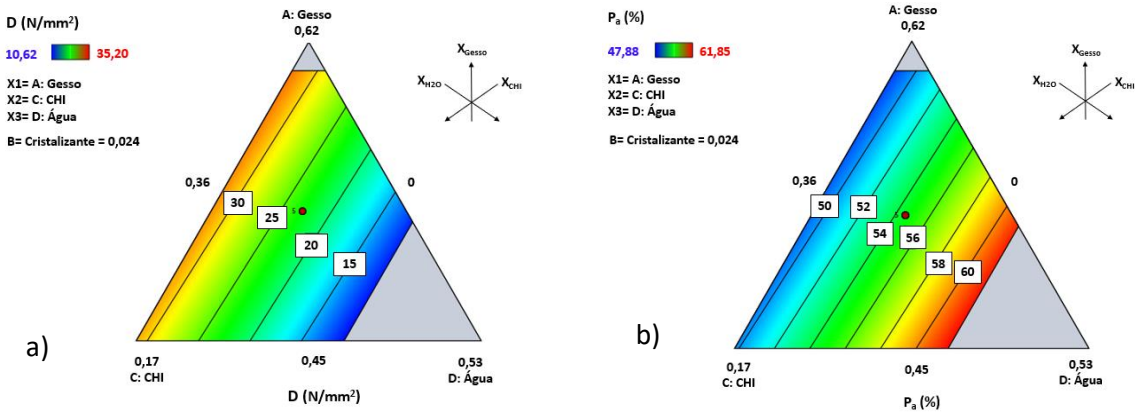
Equações dos modelos	R^2 adj	R^2 pred
$D = 110{,}35X_G + 41{,}99X_C + 100{,}99X_{CHI} - 100{,}01X_{H2O}$	0,98	0,96
$R_t = 32{,}23X_G - 9{,}57X_C - 14{,}86X_{CHI} + 15{,}97X_{H2O} - 88{,}83X_G X_{H2O}$	0,90	0,88
$R_c = 96{,}57X_G + 817{,}36X_C - 94{,}43X_{CHI} + 63{,}82X_{H2O} - 803{,}39X_G X_C + 117{,}74X_G X_{CHI} - 301{,}04\ X_G X_{H2O} - 1016{,}97X_C X_{CHI} - 1058{,}27X_C X_{H2O}$	0,96	0,98
$\eta = 1{,}98X_G + 42{,}95X_C + 8{,}45X_{CHI} + 128{,}97X_{H2O}$	0,96	0,95

$\theta_C = 462{,}36X_G - 2482{,}65X_C - 243{,}23X_{CHI} + 981{,}17X_{H2O} + 6296{,}66X_GX_C - 2721{,}25X_GX_{H2O} - 6177{,}09X_CX_{CHI}$	0,89	0,84

Obs.: Todos os modelos são estatisticamente significativos com falta de ajuste não significativa ao nível de α = 0,05.

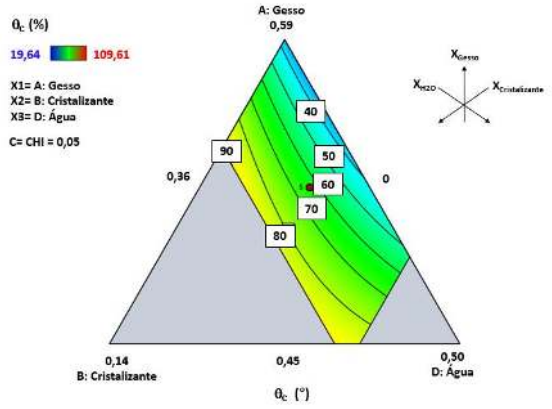
Fonte: OS AUTORES, 2023

Figura 1 - Diagramas ternários que correlacionam as propriedades com os componentes da mistura: a) D; e b) P_a



Fonte: OS AUTORES, 2023

Figura 2 - Diagrama ternário que correlacionam a propriedade ângulo de contato com os componentes da mistura



Fonte: OS AUTORES, 2023

Os efeitos positivos observados da adição da cal CH-I nas formulações, aumento da D e redução da η, podem estar associados ao melhor empacotamento das partículas e a redução do volume de poros que resulta na redução da porosidade e, consequentemente, no aumento das propriedades mecânicas. A adição de cal CH-I nas pastas de gesso pode ocasionar a

presença de cristais de calcita formados entre os cristais de gesso que alteram a porosidade da pasta, preenchendo totalmente ou parcialmente os vazios na microestrutura[12].

A adição do cristalizante proporcionou o aumento do ângulo de contato das pastas, contribuindo para a redução da absorção de água pelo gesso. Uma hipótese para esse resultado é que o cristalizante tenha reagido com o hidróxido de cálcio originando uma estrutura cristalina que promoveu o bloqueio parcial dos poros. Além disso, é possível que tenha ocorrido a variação na dimensão dos poros e redução de vazios, que podem ter contribuído para redução da higroscopicidade do material. A capacidade de um material em absorver água está diretamente relacionada com a porosidade, ou seja, a presença de espaços vazios em sua estrutura que permitem a absorção de água.

4. CONCLUSÕES

O cristalizante utilizado não teve influência expressiva na dureza, nas resistências à tração e à compressão, e na porosidade das pastas de gesso. Por outro lado, a adição do cristalizante colaborou para o aumento do ângulo de contato das pastas devido a possível impermeabilização ocasionada pela reação do cristalizante com o hidróxido de cálcio (cal CH-I), redução de vazios e redução da porosidade.

O efeito da adição de cal CH-I cooperou para o aumento da dureza e redução da porosidade. As pastas de gesso com a adição do cristalizante e da cal hidratada têm se mostrado uma alternativa promissora para obtenção de elementos de gesso mais resistentes à ação da água.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NACIRI, K.; AALIL, I.; CHAABA, A. Eco-friendly gypsum-lime mortar with the incorporation of recycled waste brick. **Constrution and Building Materials**, v.325, paper 126770, mar. 2022.

2. ZHU, C.; ZHANG, J.; PENG, J.; CAO, W.; LIU, J. Physical and mechanical properties of gypsum-based composites reinforced with PVA and PP fibers. **Constrution and Building Materials**, v.163, p. 695-705, fev. 2018.

3. DOLEZELOVÁ, M.; KREJSOVÁ, J.; SCHEINHERROVÁ, L.; KEPPERT, M. Investigation of environmentally friendly gypsum based composites with improved water resistance. **Journal of Cleaner Production,** v.370, paper 133278, out. 2022.

4. JUMURUS, N.; SUTTANON, N.; SROILA, W.; TIPPO, P.; PANTHAWAN, A.; THONGPAN, W.; KUMPIKA, T.; SROILA, W.; RIANYOI, R.; SINGJAI, P.; THONGSUWAN, W. Durability and photocatalytic activity of superhydrophobic gypsum boards coated with PDMS/MTCS-modified SiO2-TiO2 NPs. **Materials Letters**, v. 330, jan. 2023.

5. LI, Z.; XU, K.; PENG, J.; WANG, J.; ZHANG, J.; LI, Q. Study on mechanical strength and water resistance of organosilicon waterproofing agent blended recycled gypsum plaster. **Case Studies in Construction Materials**, paper e00546, v.14, jun. 2021.

6. BARRIGUETE, A. V.; SÁNCHEZ, E. A.; MERINO, M. D. R.; RAMÍREZ, C. P. Analysis of the improved water-resistant properties of plaster compounds with the addition of plastic waste. **Construction and Building Materials**, v.230, paper 116956, jan. 2020.

7. KHALIL, A. A.; TAWFIK, A.; HEGAZY, A. A. Plaster composites modified morphology with enhanced compressive strength and water resistance characteristics. **Construction and Building Materials**, v.167, p.55-64, abr. 2018.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12128:** Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas da pasta. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7175:** Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12129:** Gesso para construção - Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

12. FREIRE M. T.; VEIGA M. R.; SILVA A. S.; BRITO J. Restoration of ancient gypsum-based plasters: Design of compatible materials. **Cement and Concrete Composites**, v. 120, 2021.