

SUBMETIDO 06/10/2021

APROVADO 24/11/2021

PUBLICADO ON-LINE 20/12/2021

PUBLICADO 10/07/2023

EDITORES ASSOCIADOS

Mariana Amorim Fraga e
Hugo Plínio de Andrade Alves

 Raquel Ferreira
do Nascimento ^{[1]*}

 Kleber Cavalcanti Cabral ^[2]

 Luciana Figueirêdo
Lopes Lucena ^[3]

[1] raquelfn96@hotmail.com

[3] llucena@yahoo.com.br

Universidade Federal do Rio Grande
do Norte (UFRN), Brasil

[2] kleber.cabral@ufersa.edu.br

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), Brasil

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6414>

ARTIGO ORIGINAL

Efeito da incorporação de Hidroxipropilmetilcelulose nas propriedades do estado fresco e endurecido de argamassas leves a base de vermiculita expandida

RESUMO: Materiais cimentícios de baixa densidade têm sido cada vez mais estudados visando à possibilidade de redução do peso das construções. Uma das formas de desenvolver esse tipo de material é através da utilização de agregados leves ou aditivos que, de forma direta ou indireta, permitem a incorporação de ar. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo verificar a influência da utilização da hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) nas propriedades do estado fresco e endurecido de argamassas leves à base de vermiculita. Para tanto, realizaram-se os ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão, absorção de água por imersão, densidade de massa, módulo de elasticidade e perda de água por evaporação. Os resultados indicam que a incorporação da HPMC produz uma argamassa de menor densidade de massa, refletindo em um material mais leve. Em decorrência do maior índice de vazios gerado, há uma redução na resistência mecânica, no módulo de elasticidade e aumento na absorção e na perda de água. Assim, foi possível concluir que a introdução da HPMC em argamassas com vermiculita tem potencial de utilização a fim de reduzir a densidade do material e manter consistência adequada para aplicação.

Palavras-chave: argamassa leve; HPMC; propriedades; vermiculita.

Effect of the incorporation of hydroxypropylmethylcellulose on the fresh and hardened properties of light mortars based on expanded vermiculite

ABSTRACT: Low density cementitious materials have been increasingly studied in order to reduce the weight of buildings. One of the ways to develop this type of material is through the use of light aggregates or additives that, directly or

*Autor para correspondência.

indirectly, allow the incorporation of air. Thus, this study aims at verifying the influence of the use of Hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) on the fresh and hardened state properties of vermiculite-based lightweight mortars. To this end, tests were carried out on compressive and tensile strength in bending, water absorption by immersion, mass density, modulus of elasticity and water loss by evaporation. The results indicate that the incorporation of HPMC produces a mortar with a lower mass density, reflecting in a lighter material. As a result of the higher void rate generated, there is a reduction in mechanical strength, in the modulus of elasticity and an increase in water absorption and loss. Thus, it was possible to conclude that the introduction of HPMC in mortars with vermiculite has potential use in order to reduce the density of the material and maintain adequate consistency for application.

.....
Keywords: HPMC; lightweight mortar; properties; vermiculite.

1 Introdução

As argamassas leves geralmente são caracterizadas por possuírem grãos porosos, obtidos através da incorporação de ar por um determinado aditivo ou da utilização de agregados leves que podem ser naturais, sintéticos ou subprodutos industriais. Os mais utilizados são a argila expandida, a vermiculita expandida e a perlita (CINTRA, 2013).

A vermiculita é um mineral filossilicato trimórfico, composto por uma camada octaédrica de alumínio, magnésio ou ferro hidratado, presa entre duas camadas tetraédricas de silicato. Possui estrutura micáceo-lamelar e clivagem basal, características que se assemelham às do mineral responsável pela sua origem: a mica (CINTRA, 2013; LEITE, 2016).

As principais características e propriedades da vermiculita expandida são originadas do seu processo de formação. A expansão volumétrica sob temperaturas elevadas, decorrente da saída de água interlamelar das camadas componentes de sua estrutura, acaba por produzir um material poroso, em que os vazios são preenchidos por ar, conferindo a esse material baixa densidade (GENCEL *et al.*, 2014).

Por ser leve, a vermiculita pode, então, ser empregada na produção de materiais com o objetivo de reduzir a massa destes. A fabricação de concreto com adição de vermiculita, por exemplo, reduz o peso próprio da peça entre 15% e 30% em relação ao concreto estrutural, o que pode reduzir em até 78% o peso da obra (XAVIER, 2018). Isso porque o agregado natural comumente utilizado apresenta densidade na faixa de 1.500 kg/m³ a 2.650 kg/m³, valor bem maior que o da vermiculita (AZERÊDO, 2012; GENCEL *et al.*, 2014; KLEIN; DUTROW, 2012; LEITE, 2016).

Guilherme (2019) analisou o desempenho mecânico de argamassas de revestimento com substituição do agregado natural pela vermiculita expandida. As argamassas com traço em volume 1:1:6 (cimento: cal: areia) tiveram substituições de 25%, 30%, 35%, 40%, 45% e 50% da massa do agregado natural pela vermiculita expandida. Os resultados mostram que a densidade no estado fresco e endurecido foi reduzida, a resistência à compressão apresentou redução pouco significativa e o índice de vazios e a resistência de aderência aumentaram.

Tie *et al.* (2020) estudaram argamassas com perlita expandida e vermiculita expandida em substituição de areia em 50% e 100%. Os resultados mostram que ambos os

agregados podem ser utilizados para produzir argamassas leves, nas faixas de densidade de 1.400 kg/m³ a 1.700 kg/m³ e de 900 kg/m³ a 1.100 kg/m³, respectivamente.

Como mencionado, além dos agregados leves para a produção de argamassas de baixa densidade, também é possível utilizar aditivos que direta ou indiretamente incorporem ar no interior do material. O ar presente na mistura aumenta o índice de vazios, tornando-a mais leve. Aditivos retentores de água como a hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) – éter obtido a partir da derivatização da celulose –, por fixarem as moléculas de água em sua estrutura, reduzem a quantidade desta, que se apresenta livre em misturas cimentícias, aumentando a viscosidade do material (BÜLICHEN; PLANK, 2013; GOVIN *et al.*, 2016; MARANI, 2015; SILVA *et al.*, 2020; ZHANG, G. *et al.*, 2018; ZHANG, Y. *et al.*, 2016). A fim de manter o mesmo índice de consistência de argamassas sem o aditivo, é necessário realizar o acréscimo de água na mistura. Quando parte dessa água acrescida evapora, proporciona aumento na rede porosa do material, reduzindo sua densidade.

Assim, apesar de a HPMC não ser um aditivo primariamente associado à incorporação de ar, e sim à retenção de água, este pode ter como efeito secundário a entrada de ar na mistura, resultando em uma maior porosidade do material e, por consequência, em menores densidades (OLIVEIRA *et al.*, 2015; PAIVA *et al.*, 2009; POURCHEZ *et al.*, 2010; VYŠVAŘIL; BAYER, 2019).

Wyrzykowski *et al.* (2014) verificaram a estrutura de poros de argamassas colantes para ladrilhos contendo éter de celulose em diferentes dosagens. Observou-se que a adição do éter não afetou consideravelmente os poros capilares, porém aumentou a porosidade total devido à entrada de ar.

Vyšvařil e Bayer (2019) avaliaram o comportamento de argamassas modificadas por éteres de celulose. Os resultados revelaram elevado teor de ar e retenção de água nas argamassas com o aumento da proporção de éter, resultando na diminuição da densidade do material.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo estudar a influência da utilização da Hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) nas propriedades do estado fresco e endurecido de argamassas leves à base de vermiculita, fazendo uma análise comparativa do material com e sem a HPMC, a fim de verificar as principais diferenças associadas à resistência mecânica, ao módulo de elasticidade, à absorção de água, à perda desta por evaporação e à densidade de massa, a partir da utilização do aditivo.

Na seção 2 são apresentados os materiais utilizados na pesquisa, bem como os procedimentos e as normas utilizadas para a realização dos ensaios. A seção 3 apresenta os valores numéricos obtidos nos ensaios e a análise destes, através de comentários e comparação com a literatura. Por fim, as conclusões do estudo são abordadas na seção 4.

2 Materiais e métodos

Para a pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais: Cimento Portland Composto com Pozolana (CP II Z 32), fabricado pela empresa Votorantim; areia natural lavada; vermiculita expandida (VE), fornecida pela Indústria e Comércio Paulista Ltda., de Santo Amaro-SP; aditivo redutor de água à base de celulose – hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) –, distribuído pela empresa Brasil Química e Mineração Industrial Ltda. (BQMIL), de Mossoró-RN; e água proveniente da rede de abastecimento.

Quadro 1 ▼

Ensaio para a caracterização física dos materiais.

Fonte: dados da pesquisa

Para a realização dos ensaios de caracterização dos materiais, a areia natural e a vermiculita expandida foram previamente secas em estufa durante 24 horas e, em seguida, resfriadas à temperatura ambiente.

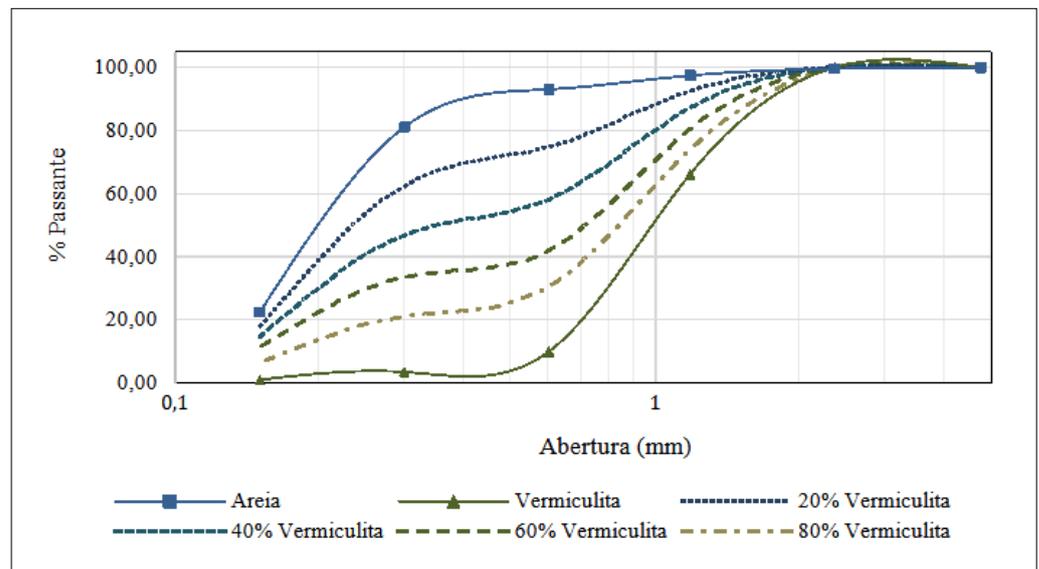
Os materiais foram caracterizados quanto às suas propriedades físicas, conforme prescrito nas normas apresentadas na Quadro 1.

Descrição	Normas		
	Areia	Vermiculita	Cimento
Distribuição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)	NBR 11355 (ABNT, 2015)	-
Massa unitária	NBR 16972 (ABNT, 2021b)	NBR 16972 (ABNT, 2021b)	NBR 16972 (ABNT, 2021b)
Massa específica	NBR 16916 (ABNT, 2021a)	-	NBR 16916 (ABNT, 2021a)

O gráfico da Figura 1 apresenta as curvas granulométricas dos agregados e das composições estudadas no presente trabalho: 20% de vermiculita e 80% de areia, 40% de vermiculita e 60% de areia, 60% de vermiculita e 40% de areia, 80% de vermiculita e 20% de areia.

Figura 1 ►

Curvas granulométricas.
Fonte: dados da pesquisa



Através da análise da Figura 1, pode-se perceber que a maior quantidade de grãos de vermiculita expandida encontra-se acima de 0,6 mm de diâmetro e a maior quantidade de grãos da areia encontra-se na faixa de 0,3 mm a 0,15 mm. Assim, a porcentagem passante da areia é bem maior que a da vermiculita nas malhas de dimensões menores, o que reflete em um módulo de finura menor (Tabela 1) e, conseqüentemente, em melhor assentamento das partículas. A porcentagem passante menor nas malhas de dimensões pequenas reflete no maior módulo de finura da vermiculita. Essa característica dificulta a acomodação dos grãos do agregado leve, tornando o material compósito mais poroso.

A Tabela 1 apresenta os valores das massas unitárias e específicas, módulos de finura e diâmetros máximos dos materiais.

Tabela 1 ►

Propriedades físicas dos materiais.

Fonte: dados da pesquisa

Materiais	Massa específica (g/cm³)	Massa unitária (g/cm³)	Módulo de finura (%)	Diâmetro máximo (mm)
Cimento	3,14	0,97	-	-
Areia Natural (AN)	2,63	1,20	1,06	1,18
Vermiculita Expandida (VE)	0,58	0,13	3,19	2,36

Dessa forma, à medida que se aumenta o teor de vermiculita na composição, a tendência é que o material tenha maior quantidade de vazios, em razão da maior dificuldade de acomodação de suas partículas (mais grossas que as da areia) e pela própria natureza porosa do agregado leve. A maior quantidade de vazios reduz a capacidade resistente do material e aumenta a absorção de água, porém proporciona menor densidade a este, tendo em vista que o ar presente nos poros dificulta a propagação de ondas (RASHAD, 2016).

As massas unitária e específica da vermiculita expandida são cerca de 89% e 78% menores que as da areia, respectivamente, o que evidencia a natureza leve do agregado. Tal característica se deve à alta porosidade do material – a presença de ar nos vazios torna o agregado menos denso – e, possivelmente, ao formato da partícula da vermiculita, pois quanto menos esféricos os grãos, menor a densidade deles (NÓBREGA, 2007; SILVA, 2015).

As maiores massas da areia são reflexos do formato arredondado de seus grãos, que proporcionam melhor empacotamento e, por consequência, menor índice de vazios (areia: 54,4%, vermiculita: 77,6%), maior compactação e maior densidade ao produto final, características essas não tão propícias à produção de um material leve. Nesse contexto, a vermiculita surge como uma alternativa para a produção desse tipo de material.

A massa específica do agregado é diretamente proporcional ao teor de finos que possui. Assim, a massa específica maior da areia em relação à vermiculita expandida é o indicativo da maior quantidade de partículas finas do agregado natural (MEDEIROS, 2016), fato comprovado pela distribuição granulométrica.

2.1 Métodos

Esta subseção aborda os procedimentos utilizados para a obtenção dos resultados da pesquisa. Inicialmente tem-se a produção das argamassas, com suas respectivas dosagens. Em seguida, a realização dos ensaios no estado fresco, moldagem e cura dos corpos de prova. E, por fim, os ensaios no estado endurecido.

2.1.1 Produção das argamassas

Para a produção das argamassas, adotou-se o traço 1:3 (cimento: areia) em volume. O teor de substituição do agregado natural pela vermiculita expandida foi de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% para um índice de consistência de 260 ± 5 mm, conforme a NBR 13276 (ABNT, 2005b), tendo como parâmetro uma argamassa de referência, sem substituição. Tais porcentagens foram escolhidas a fim de se realizar um mapeamento

inicial do comportamento de argamassas com vermiculita e hidroxipropilmetilcelulose (0,2% da massa do cimento). A fim de verificar a influência do aditivo utilizado nas propriedades mecânicas, foram produzidas argamassas sem a hidroxipropilmetilcelulose, com as mesmas porcentagens de substituição de vermiculita, para servir como parâmetro de comparação.

Com objetivos práticos de laboratório, os traços em volume para cada proporção de vermiculita foram transformados para massa, sendo calculados a partir dos resultados de massa unitária dos constituintes (Tabela 2). As relações água/materiais secos foram obtidas a partir do ensaio de índice de consistência, considerando um espalhamento de 260 ± 5 mm.

Tabela 2 ▶

Traços e relações
água/materiais secos.
Fonte: dados da pesquisa

Teor	Traço em volume c:an:ve	Traço em massa c:an:ve	água/matsecos com HPMC	água/matsecos sem HPMC
0%	1:3:0	1:3,72:0	0,26	0,24
20%	1:2,4:0,6	1:2,97:0,08	0,31	0,28
40%	1:1,8:1,2	1:2,23:0,16	0,37	0,35
60%	1:1,2:1,8	1:1,49:0,24	0,49	0,47
80%	1:0,6:2,4	1:0,74:0,32	0,68	0,63
100%	1:0:3	1:0:0,40	1,10	1,09

As argamassas foram produzidas em argamassadeira I-310 da Contenco. Inicialmente, adicionou-se areia e vermiculita, em seguida o cimento e a HPMC. Os materiais secos foram misturados por cerca de 10 segundos, a fim de homogeneizar a mistura. Depois, acrescentou-se a água, misturando a argamassa por 30 segundos na velocidade baixa e mais 30 segundos na velocidade alta.

2.1.2 Propriedades das argamassas no estado fresco

Os ensaios para determinação das propriedades físicas das argamassas no estado fresco foram realizados de acordo com o estabelecido pelas normas e pela tese de Pereira (2007), especificadas no Quadro 2.

Quadro 2 ▶

Ensaio da argamassa
no estado fresco.
Fonte: dados da pesquisa

Ensaio	Referência
Índice de consistência	NBR 13276 (ABNT, 2005b)
Densidade de massa	NBR 13278 (ABNT, 2005c)
Perda de água por evaporação	Pereira (2007)

2.1.2.1 Perda de água

O ensaio foi realizado com base no trabalho de Pereira (2007) e consistiu na pesagem das argamassas em diferentes tempos: 0 min, 15 min, 30 min, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 7 horas, 1 dia, 3 dias, 7 dias, 14 dias, 21 dias e 28 dias, a fim de saber o quanto de água foi perdido pelo material por evaporação. O cálculo para determinação da perda de água foi realizado de acordo com a Equação 1.

$$\text{Perda de água} = 1 - \frac{M_{\text{conjunto}} - M_{\text{forma}}}{M_{\text{argamassa}}} \quad (1)$$

na qual: M_{conjunto} é a massa do conjunto no tempo t ; M_{forma} é a medida da massa da forma; $M_{\text{argamassa}}$ é a medida da massa inicial da argamassa, todas em gramas.

2.1.3 Moldagem e cura dos corpos de prova

Para a realização dos ensaios mecânicos no estado endurecido, foram produzidos corpos de prova prismáticos nas dimensões 4,0 cm × 4,0 cm × 16,0 cm, sendo três para cada composição e cada ensaio. Todos os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas e a cura deles para os ensaios no estado endurecido foi de 28 dias, imersa em água.

2.1.4 Propriedades das argamassas no estado endurecido

Os ensaios para a determinação das propriedades das argamassas no estado endurecido foram realizados de acordo com as normas e a tese de Pereira (2007) apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 ▶
Ensaio das argamassas no estado endurecido.
Fonte: dados da pesquisa

Ensaio	Referências
Resistência à compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005d)
Resistência à tração na flexão	NBR 13279 (ABNT, 2005d)
Densidade de massa	NBR 13280 (ABNT, 2005e)
Módulo de elasticidade dinâmico	NBR 15630 (ABNT, 2008)
Absorção de água por imersão	NBR 9778 (ABNT, 2005a)
Perda de água por evaporação	Pereira (2007)

3 Resultados e discussão

Esta seção aborda os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados nas argamassas em análise, bem como uma discussão sucinta dos dados.

3.1 Relação água/materiais secos versus índice de vazios

Na Tabela 3, são apresentados os dados de relação água/materiais secos e índices de vazios de cada argamassa estudada.

Tabela 3 ▶

Relação água/materiais secos versus índice de vazios.

Fonte: dados da pesquisa

% vermiculita	Relação água/matsecos		Índice de vazios (%)	
	Com HPMC	Sem HPMC	Com HPMC	Sem HPMC
0%	0,26	0,24	34,83%	31,25%
20%	0,31	0,28	41,40%	35,61%
40%	0,37	0,35	49,27%	39,34%
60%	0,49	0,47	60,66%	48,53%
80%	0,68	0,63	74,28%	58,55%
100%	1,10	1,09	82,84%	76,87%

É possível notar que, à medida que se aumenta a proporção de vermiculita na mistura, a relação água/materiais secos também cresce. Isso porque a vermiculita expandida é capaz de absorver grande quantidade de água, em virtude da sua alta porosidade, conforme constatado por Cintra (2013). Há um acréscimo de 76,36% e 77,98% de água para as argamassas com HPMC e sem HPMC, respectivamente, quando se compara o teor máximo de vermiculita (100%) com o traço de referência.

Ao comparar os dois conjuntos de argamassas (com e sem HPMC), verifica-se que as argamassas com incorporação de HPMC apresentam valores de relação água/materiais secos maiores, visto que, por ser um aditivo retentor de água e apresentar natureza hidrofílica (permite a fixação de moléculas de água no aditivo), é responsável pela modificação da viscosidade do material, reduzindo o seu índice de consistência. A fim de manter o mesmo espalhamento padrão (260 ± 5 mm) para todas as argamassas, faz-se necessário aumentar a quantidade de água na mistura (FIGUEIREDO; ÇOPUROĞLU; SCHLANGEN, 2019; KHAYAT, 1998; SILVA, 2004). Dessa forma, o acréscimo de água para manter o mesmo índice de consistência (260 ± 5 mm) nas argamassas com HPMC resulta num aumento médio de 5,76% na relação água/materiais secos, quando comparado com as argamassas sem HPMC.

O índice de vazios das argamassas é diretamente proporcional à relação água/materiais secos estabelecida, uma vez que quanto maior ela for, maior também a quantidade de vazios presentes no material. Essa relação direta se deve ao fato de que quanto maior a quantidade de água presente na composição, uma parcela maior da mistura deixa de ser material sólido e compacto, uma vez que a água passa a ocupar um lugar no material. Dessa forma, quanto maior a relação água/materiais secos, maior será o espaço não ocupado por sólidos e maior o índice de vazios.

É possível notar então que as argamassas com maior teor de vermiculita possuem maior índice de vazios porque apresentam também maior relação água/materiais secos, dada a porosidade e absorção elevada do agregado. Assim, há um aumento de 48,01% e

45,62% no índice de vazios das argamassas com HPMC e sem HPMC, respectivamente, quando se compara o teor máximo de vermiculita (100%) com o traço de referência.

As argamassas com incorporação da HPMC, que possuem maior relação água/materiais secos a fim de manter o mesmo índice de consistência (260 mm), apresentam, conseqüentemente, maior índice de vazios que as argamassas sem HPMC. O maior índice de vazios proporciona redução na densidade do material.

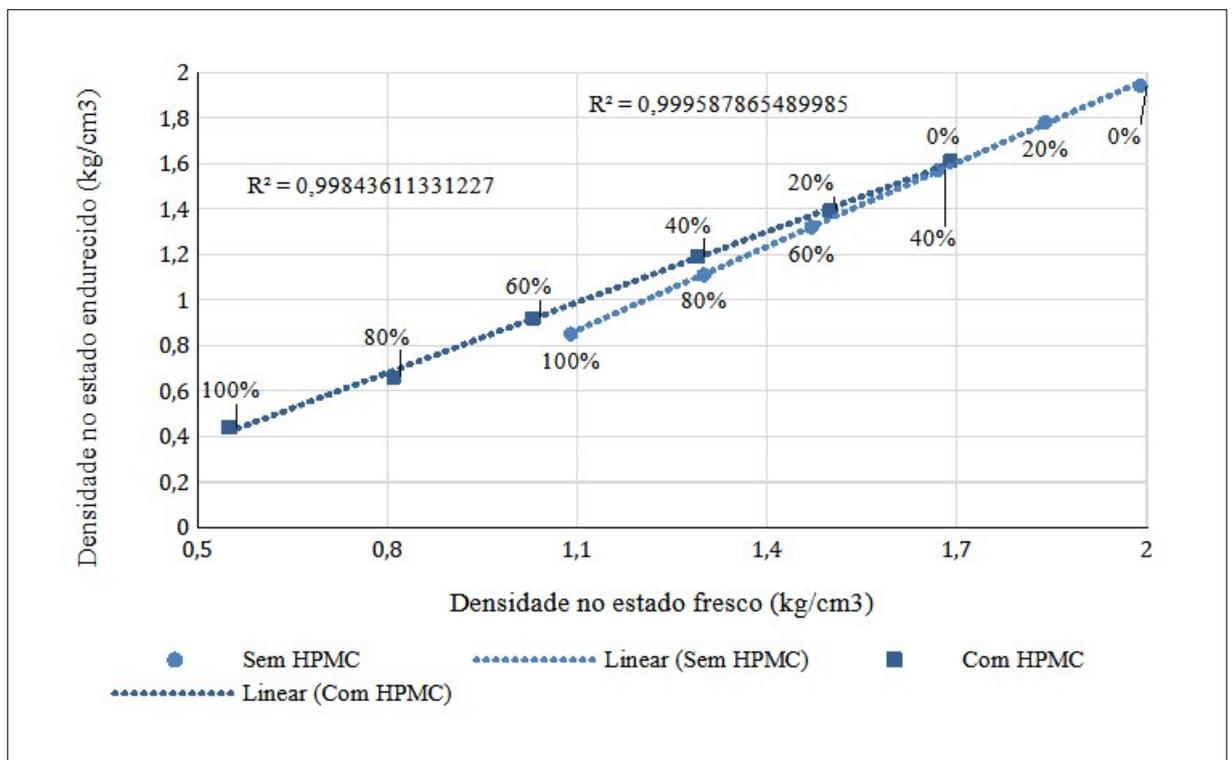
Figura 2 ▼

Densidades de massa nos estados fresco e endurecido e suas correlações.

Fonte: dados da pesquisa

3.2 Densidade de massa

O gráfico da Figura 2 ilustra os valores de densidade de massa no estado fresco e endurecido das argamassas para cada proporção de vermiculita incorporada no material com e sem HPMC e a correlação entre elas.



Observa-se que à medida que se incorpora vermiculita na mistura, ambas as densidades diminuem, em função da natureza leve dela, comparada à areia. Houve um decréscimo de 56,19% e 45,23% de densidade no estado fresco nas argamassas com HPMC e sem HPMC, respectivamente, quando se compara o teor máximo de vermiculita (100%) com o traço de referência. Houve também um decréscimo de 72,67% e 67,46% de densidade nas argamassas no estado endurecido com HPMC e sem HPMC, respectivamente, quando se compara o teor máximo de vermiculita (100%) com o traço de referência.

Ao comparar os dois conjuntos de argamassas (com e sem HPMC), verifica-se que as argamassas com incorporação de HPMC apresentam ainda menores densidades que as argamassas sem HPMC. Para o estado fresco, há um decréscimo na densidade de 2,51%, 3,26%, 5,99%, 10,20%, 14,62% e 22,02% nas argamassas de 0%, 20%, 40%, 60% 80% e 100%, respectivamente, quando se compara as argamassas com e sem HPMC; e para o estado endurecido, há um decréscimo na densidade de 4,73%, 7,33%, 7,75%, 10,68%, 18,52% e 20,00% nas argamassas de 0%, 20%, 40%, 60% 80% e 100%, respectivamente.

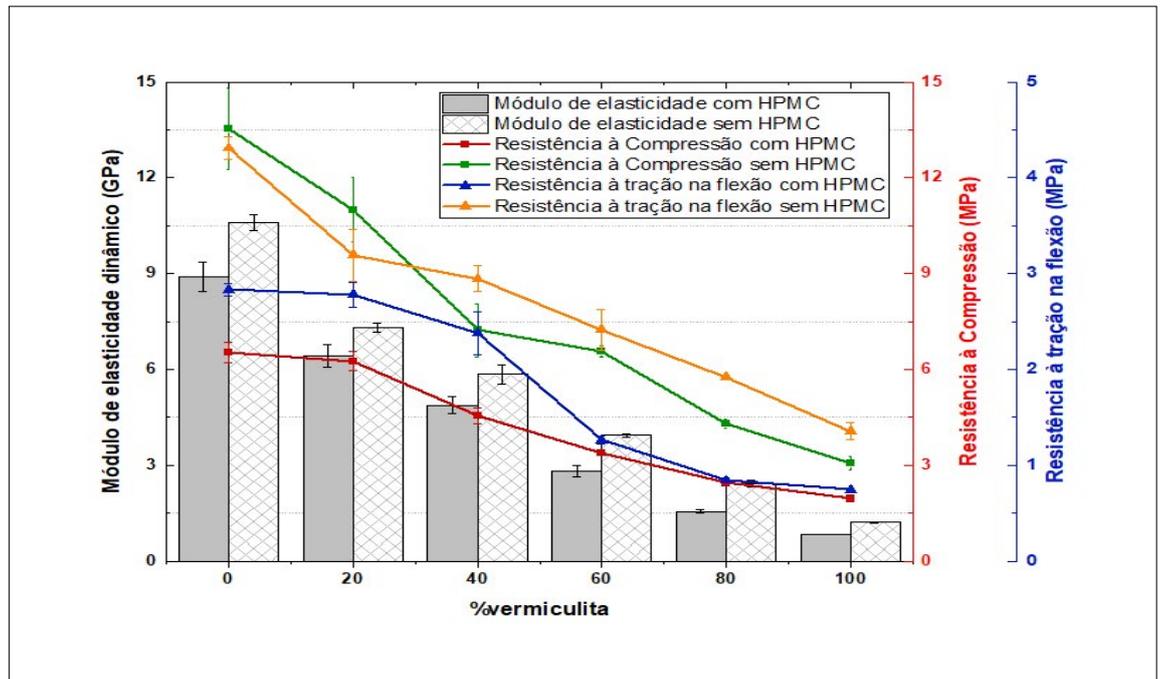
Isso ocorre porque há um aumento na quantidade de água na mistura a fim de manter a mesma consistência e parte dessa água, que não está combinada quimicamente ao cimento. Após a evaporação, o resultado é uma elevação da estrutura porosa das argamassas, tornando-as mais leves (PAIVA *et al.*, 2009; POURCHEZ *et al.*, 2010; VYŠVAŘIL; BAYER, 2019).

A correlação linear entre as densidades indica uma aproximação nos valores entre as argamassas de referência com HPMC e 40% sem HPMC, 20% com HPMC e 60% sem HPMC, 40% com HPMC e 80% sem HPMC, revelando que a incorporação do aditivo proporciona densidades equivalentes a uma argamassa que apresenta 40% a mais de vermiculita em sua composição.

3.3 Resistência à compressão e à tração na flexão

Na Figura 3, são apresentados os dados e as relações entre as resistências à compressão, à tração na flexão e o módulo de elasticidade dinâmico, para cada proporção de vermiculita incorporada nas argamassas com e sem HPMC.

Figura 3 ▼
Resistência à compressão, à tração na flexão e módulo de elasticidade dinâmico.
Fonte: dados da pesquisa



Ao analisar a Figura 3, nota-se que, com relação ao teor de vermiculita incorporada, à medida que se aumenta a proporção desta, há uma diminuição da resistência à compressão e à tração na flexão. Tal fenômeno é explicado pela estrutura porosa do agregado leve que proporciona uma redução na capacidade de resistir aos esforços solicitantes, frente ao pequeno módulo de elasticidade dinâmico do material. Além disso, a pequena quantidade de finos da vermiculita, quando comparada à areia, pode dificultar o empacotamento das partículas e afetar negativamente na resistência. O mesmo fato foi constatado por Barros (2018), Benli, Karatas e Toprak (2020), Guilherme (2019) e Mo *et al.* (2018).

Assim, há um decréscimo de 70,03% e 77,25% de resistência à compressão nas argamassas com HPMC e sem HPMC, respectivamente, quando se compara o teor

máximo de vermiculita (100%) com o traço de referência, e de 73,50% e 68,45% de resistência à tração na flexão nas argamassas com HPMC e sem HPMC, respectivamente.

A incorporação do HPMC nas argamassas reduziu as resistências do material pois, segundo Figueiredo, Çopuroğlu e Schlangen (2019), entre os efeitos advindos a partir da utilização do HPMC encontram-se o aumento do tempo de fixação do cimento, a dispersão anômala dos produtos de hidratação no volume e o aumento na quantidade de vazios. Além disso, o acréscimo de água, a fim de manter o mesmo índice de consistência, proporcionou aumento na estrutura porosa do material. Tais fatores refletem na diminuição da resistência mecânica.

Dessa forma, com relação à resistência à compressão, ao se comparar as argamassas com HPMC e sem HPMC, a redução de resistência para os materiais com as respectivas porcentagens de incorporação de vermiculita 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% é de: 51,70%, 43,14%, 37,07%, 48,32%, 43,16% e 36,36%. Assim, a média de redução de resistência à compressão entre uma argamassa com HPMC e uma sem HPMC é de 43,29%. Quanto à resistência à tração na flexão, a redução de resistência para as argamassas com teor de incorporação de 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de vermiculita, quando comparadas a utilização e a não utilização da HPMC, é de, respectivamente: 34,4%, 12,85%, 19,32%, 47,93%, 56,25% e 44,85%. Assim, a média de redução de resistência à tração entre uma argamassa com HPMC e uma sem HPMC é de 35,93%.

Os valores dos módulos de elasticidade dinâmico diminuem com o aumento do teor de vermiculita, acompanhando então, como esperado, o mesmo comportamento da resistência mecânica. Além disso, a diminuição do módulo de elasticidade se deve à estrutura porosa da vermiculita, que, além de proporcionar redução da capacidade de resistir esforços, dificulta a passagem do pulso ultrassônico (GUILHERME, 2019). A diminuição no valor do módulo de elasticidade é comum em compósitos que utilizam agregados leves, como observado por Latroch *et al.* (2018). Assim, tem-se um decréscimo de 90,56% e 88,68% nos módulos de elasticidade das argamassas com e sem HPMC, respectivamente, quando se compara o teor máximo de vermiculita (100%) com o traço de referência.

Com relação ao uso da HPMC, as argamassas que incorporaram o aditivo apresentaram módulos de elasticidade ainda menores, quando comparadas às que não incorporaram. Isso se deve ao maior índice de vazios proporcionado pela introdução da HPMC. Oliveira *et al.* (2015) investigaram a influência do uso da HPMC em argamassa de assentamento mista de cimento e cal para alvenaria estrutural de blocos de concreto e verificaram que o módulo de elasticidade sofreu reduções significativas. Dessa forma, há um decréscimo de 16,04%, 12,28%, 16,44%, 28,24%, 36,21% e 31,15% nos módulos de elasticidade das argamassas de 0%, 20%, 40%, 60% 80% e 100%, respectivamente, quando se compara as argamassas com HPMC e as argamassas sem HPMC.

Quando se trata de argamassa de revestimento, a resistência mecânica não é tão significativa como nos concretos, pois o aumento de resistência implica no aumento da rigidez, podendo gerar fissuras que podem comprometer a durabilidade. Assim, para as argamassas em questão, cujo foco é, além de revestir, proporcionar redução da densidade da estrutura, é importante destacar que a redução de resistência mecânica, proporcionada tanto pela incorporação da vermiculita expandida quanto pela utilização da HPMC, é um fato decorrente da própria estrutura porosa formada e necessária a um material desenvolvido com fins de baixa densidade. Além disso, menor resistência e rigidez proporcionam ao material cimentício maior capacidade de absorver deformações, sem que haja desagregação ou aparecimento de fissuras no material (GUILHERME, 2019).

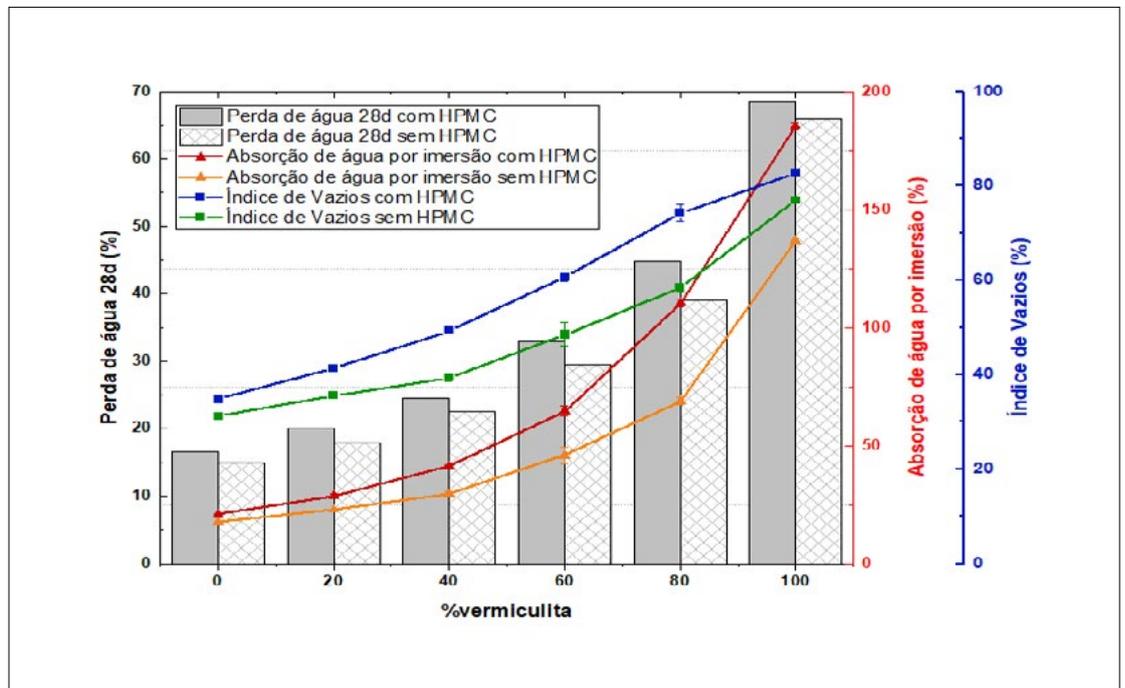
Figura 4 ▼

Absorção de água por imersão, índice de vazios e perda de água aos 28 dias.

Fonte: dados da pesquisa

3.4 Absorção de água por imersão, índice de vazios e perda de água

Na Figura 4, são apresentados os valores de absorção de água por imersão, índice de vazios e perda de água aos 28 dias das argamassas, para cada proporção de vermiculita incorporada no material com e sem HPMC.



Ao analisar a Figura 4, nota-se que os valores de absorção de água por imersão e índice de vazios crescem com o aumento do teor de vermiculita. Isso ocorre em razão do caráter poroso do agregado e em decorrência da sua granulometria maior que a da areia, que não permite uma acomodação adequada das partículas e, por consequência, proporciona maior índice de vazios e maior capacidade absorviva.

O mesmo fenômeno foi constatado por Mo *et al.* (2018), Benli, Karatas e Toprak (2020), Guilherme (2019) e Barros (2018). Assim, tem-se um acréscimo de 164% e 119% na absorção das argamassas com HPMC e sem HPMC, respectivamente, quando se compara o teor máximo de vermiculita (100%) com o traço de referência.

Ao comparar as argamassas com e sem HPMC, é possível perceber que a absorção de água das argamassas que contêm HPMC são maiores do que a das que não contêm. Tal fato pode ser explicado pelo maior índice de vazios proporcionado pela incorporação do aditivo, resultante da maior relação água/materiais secos das argamassas com HPMC. Vyšvařil e Bayer (2019), que avaliaram o comportamento de argamassas modificadas por éteres de celulose, constataram que as argamassas produzidas com inserção desse tipo de aditivo apresentam maior porosidade aberta e maior absorção de água. Devido à alta absorção das argamassas, é importante realizar o preparo correto do substrato para aplicação, a fim de que não se comprometa a qualidade do revestimento e, consequentemente, de que não apareçam patologias.

Dessa forma, há um acréscimo de 3%, 6%, 11%, 19%, 41% e 48% nos valores de absorção de água por imersão das argamassas de 0%, 20%, 40%, 60% 80%

e 100%, respectivamente, quando se compara as argamassas com HPMC e as argamassas sem HPMC.

Com relação ao índice de vazios, há um acréscimo de 4%, 5%, 10%, 12%, 15% e 6% nas argamassas de 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%, respectivamente, quando se compara as argamassas com HPMC e aquelas sem HPMC.

Quanto à associação entre o maior teor de vermiculita e a maior perda de água por evaporação aos 28 dias, isso se dá em função da porosidade do agregado. Quanto mais vazios existentes, maior é a facilidade de absorver e perder água. A elevada perda de água por evaporação, característica de agregados leves, reflete em uma retração acentuada nos compósitos cimentícios, o que acaba por interferir na sua resistência mecânica (BUTTLER, 2003; GOMES *et al.*, 2015; ROSSIGNOLO, 2003).

Figura 5 ▼

Perda de água por evaporação com HPMC.
Fonte: dados da pesquisa

Os perfis completos de perda de água por evaporação com e sem HPMC em todas as idades mensuradas até 28 dias encontram-se expostos nas Figuras 5 e 6, para cada proporção de vermiculita expandida incorporada nas argamassas com e sem HPMC.

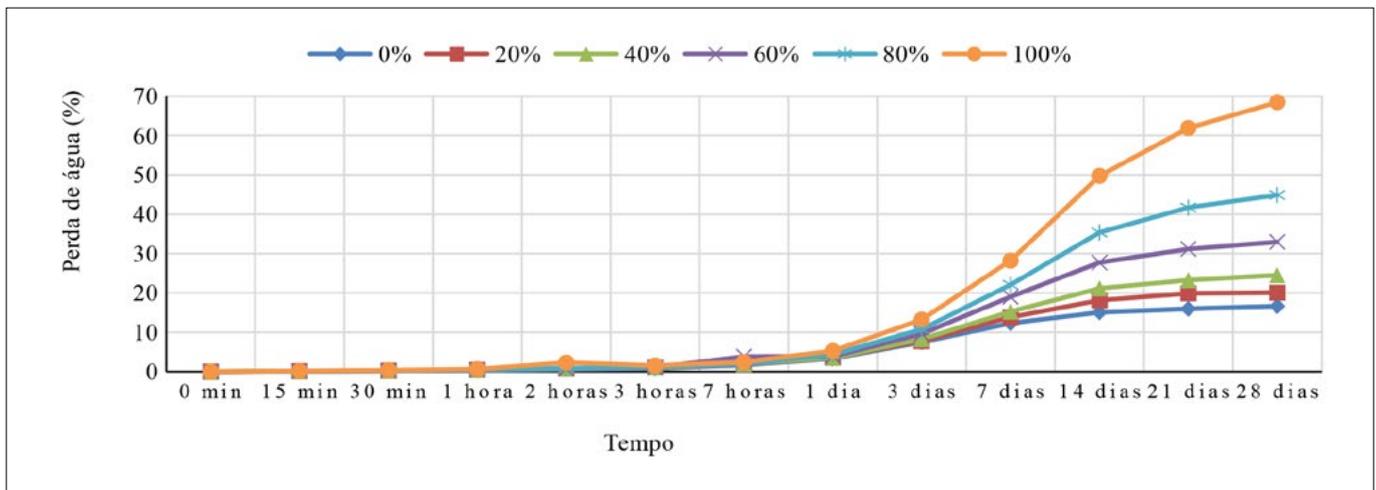
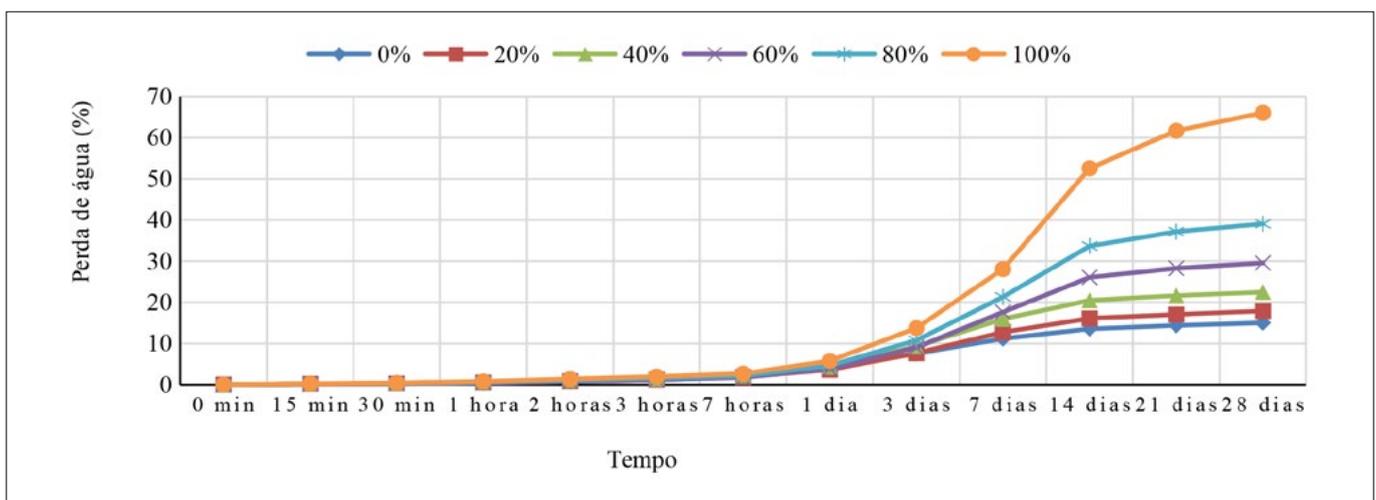


Figura 6 ▼

Perda de água por evaporação sem HPMC.
Fonte: dados da pesquisa



Para os dois casos, percebe-se que até o tempo de 1 dia não há muita distinção nos valores de perda de água entre as diferentes composições das argamassas; apenas a partir do terceiro dia é possível notar o início do distanciamento entre as curvas, que se acentua com o passar do tempo, até atingir a maior diferença aos 28 dias. É possível ainda verificar que quanto maior o teor de vermiculita, maior o distanciamento entre as curvas, de tal forma que a maior lacuna ocorre entre as argamassas com 80% e 100% de vermiculita.

A diferença na perda de água entre uma composição e outra a partir do terceiro dia ocorre porque, nos tempos iniciais, a água presente na mistura está sendo utilizada nos processos de hidratação do cimento, e, portanto, não há perda de água significativa nem diferenciação entre as composições. A partir do terceiro até o vigésimo oitavo dia, nota-se um aumento gradativo na perda de água, visto que, a partir de então, a água livre começa a evaporar, tendo valor máximo de evaporação aos 28 dias, conforme verificado por Tedesco (2016).

Assim, quando se compara as argamassas com 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de vermiculita, aos 28 dias, com a argamassa de referência com HPMC, as diferenças percentuais de perda de água por evaporação são de 3,40%, 7,86%, 16,31%, 28,23% e 51,82%, respectivamente. Para as sem HPMC, as diferenças de perda de água são de 2,86%, 7,44%, 14,53%, 24,02% e 51,00%, respectivamente, comparando as composições acima com a argamassa de referência sem HPMC.

É possível notar, de maneira geral, que não há grandes distinções nos valores de perda de água nas primeiras idades entre as argamassas com e sem HPMC; apenas a partir do sétimo ou décimo quarto dia as curvas começam a se distanciar. Isso porque, até essa idade, além de não haver tanta evaporação de água livre, os vazios proporcionados pela incorporação da HPMC parecem surgir de forma gradativa, até possibilitar maior evaporação aos 28 dias.

Percebe-se ainda que os valores de perda de água a partir dessas idades (7 e 14 dias) são maiores para as argamassas com HPMC, pois, apesar de este ser um aditivo capaz de reter água na mistura, as relações água/materiais secos das argamassas com HPMC são maiores do que as sem o aditivo, o que leva o material a perder mais água. Dessa forma, as composições com 100% de vermiculita quase não apresentam distinção, quando se compara as argamassas com e sem HPMC, tendo em vista que as relações água/materiais secos são praticamente iguais.

Assim, tem-se que as diferenças percentuais de perda de água, aos 28 dias, entre as argamassas com e sem HPMC, para as composições de 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% são, respectivamente: 1,62%, 2,16%, 2,03%, 3,40%, 5,84% e 2,45%.

4 Conclusões

O presente estudo teve como objetivo verificar a influência da utilização da hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) nas propriedades do estado fresco e endurecido de argamassas leves à base de vermiculita, fazendo uma análise comparativa do material com e sem a HPMC.

Diante do que foi avaliado, pode-se concluir que:

- Do ponto de vista da densidade, a melhor composição é a da argamassa com 100% de vermiculita expandida e incorporação de HPMC, visto que, por apresentar maior índice de vazios, constitui-se no material mais leve, podendo,

assim, contribuir para a redução do peso próprio das construções. Além disso, em decorrência de suas características, essa argamassa apresenta grande potencial para ser utilizada no isolamento térmico e acústico das edificações;

- A menor resistência mecânica e módulo de elasticidade associados à referida composição não são empecilhos à sua utilização, pois, para uma argamassa de revestimento, é importante que haja flexibilidade. Uma maior rigidez associada a uma maior resistência, até certo ponto, pode provocar fissuras e comprometer a durabilidade do revestimento. Um menor módulo de elasticidade, por sua vez, indica maior possibilidade de absorver deformações;
- A maior absorção e perda de água para as argamassas com HPMC são resultado do maior índice de vazios gerados, que facilita a entrada e a saída de água no material. Por essa razão é importante realizar o preparo correto do substrato antes da aplicação das argamassas, de forma a garantir sua aderência e reduzir sua permeabilidade;
- As menores densidades com incorporação de HPMC revelam que o aditivo tem potencial para ser utilizado em argamassas leves à base de vermiculita a fim de reduzir o peso do material e manter uma consistência adequada para a aplicação.

Sugere-se, para pesquisas futuras, a verificação das mesmas propriedades em argamassas com diferentes teores de incorporação da HPMC. No presente trabalho, foi analisada apenas uma porcentagem de incorporação do aditivo.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11355**: Vermiculita expandida – Análise granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e

tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005e.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916**: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

AZERÊDO, A. F. N. **Estudo do resíduo de caulim em argamassas a base de cal quanto às suas propriedades frescas, endurecidas e microestruturais**. 2012. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/13873>. Acesso em: 21 nov. 2021.

BARROS, I. M. S. **Análise térmica e mecânica de argamassas de revestimento com adição de vermiculita expandida em substituição ao agregado**. 2018. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/25165>. Acesso em: 3 jun. 2021.

BENLI, A.; KARATAS, M.; TOPRAK, H. A. Mechanical characteristics of self-compacting mortars with raw and expanded vermiculite as partial cement replacement at elevated temperatures. **Construction and Building Materials**, v. 239, 117895, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117895>.

BÜLICHEN, D.; PLANK, J. Water retention capacity and working mechanism of methyl hydroxypropyl cellulose (MHPC) in gypsum plaster – Which impact has sulfate? **Cement and Concrete Research**, v. 46, p. 66-72, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.01.014>.

BUTTLER, A. M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto: influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. DOI: <https://dx.doi.org/10.11606/D.18.2003.tde-06082003-172935>.

CINTRA, C. L. D. **Argamassa para revestimento com propriedades termoacústicas, produzida a partir de vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus.** 2013. 182 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/718>. Acesso em: 7 dez. 2021.

FIGUEIREDO, S. C.; ÇOPUROĞLU, O.; SCHLANGEN, E. Effect of viscosity modifier admixture on Portland cement paste hydration and microstructure. **Construction and Building Materials**, v. 212, p. 818-840, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.020>.

GENCEL, O.; DIAZ, J. J. C.; SUTCU, M.; KOKSAL, F.; RABANAL, F. P. A.; MARTINEZ-BARRERA, G.; BROSTOW, W. Properties of gypsum composites containing vermiculite and polypropylene fibers: numerical and experimental results. **Energy and Buildings**, v. 70, p. 135-144, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.047>.

GOMES, P. C. C.; ALENCAR, T. F. F.; SILVA, N. V.; MORAES, K. A. M.; ANGULO, S. C. Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 3, p. 31-46, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000300024>.

GOVIN, A.; BARTHOLIN, M.-C.; BIASOTTI, B.; GIUDICI, M.; LANGELLA, V.; GROSSEAU, P. Modification of water retention and rheological properties of fresh state cement-based mortars by guar gum derivatives. **Construction and Building Materials**, v. 122, p. 772-780, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.125>.

GUILHERME, D. D. P. **Estudo do desempenho térmico e mecânico em argamassas de revestimento com substituição do agregado natural pela vermiculita expandida.** 2019. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/28547>. Acesso em: 10 ago. 2021.

KHAYAT, K. H. Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials: an overview. **Cement and Concrete Composites**, v. 20, n. 2-3, p. 171-188, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(98\)80006-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(98)80006-1).

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de ciência dos minerais.** 23. ed. São Paulo: Bookman, 2012.

LATROCH, N.; BENOSMAN, A. S.; BOUHAMOU, N.-E.; SENHADJI, Y.; MOULI, M. Physico-mechanical and thermal properties of composite mortars containing lightweight aggregates of expanded polyvinyl chloride. **Construction and Building Materials**, v. 175, p. 77-87, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.173>.

LEITE, J. M. **A influência da vermiculita em argamassa geopolimérica com adição de nanotitânia**. 2016. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Infraestrutura) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/173068>. Acesso em: 15 jun. 2021.

MARANI, P. L. **Estudo da influência das características estruturais da hidroxipropil-metil-celulose (HPMC) nas propriedades de superfície de filmes poliméricos, na incorporação e liberação de nicotina**. 2015. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.11606/D.46.2015.tde-29092015-124426>.

MEDEIROS, M. **Estudo de argamassas de revestimento com resíduo de scheelita**. 2016. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/22457>. Acesso em: 20 jul. 2021.

MO, K. H.; LEE, H. J.; LIU, M. Y. J.; LING, T.-C. Incorporation of expanded vermiculite lightweight aggregate in cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 179, p. 302-306, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.219>.

NÓBREGA, A. F. **Potencial de aproveitamento de resíduos de caulim paraibano para o desenvolvimento de argamassas de múltiplo uso**. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/5563>. Acesso em: 20 jul. 2021.

OLIVEIRA, A. L.; CORRÊA, B. P.; RIBEIRO, I. F. R.; SOUZA, R. A.; CALÇADA, L. M. L. Influência do uso de aditivo retentor de água à base de éter de celulose nas propriedades das argamassas de assentamento em alvenaria estrutural de blocos de concreto. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 3, p. 57-69, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000300026>.

PAIVA, H.; ESTEVES, L. P.; CACHIM, P. B.; FERREIRA, V. M. Rheology and hardened properties of single-coat render mortars with different types of water retaining agents. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 2, p. 1141-1146, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.06.001>.

PEREIRA, C. H. A. F. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa**. 2007. 195 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/2451>. Acesso em: 21 jul. 2021.

POURCHEZ, J.; RUOT, B.; DEBAYLE, J.; POURCHEZ, E.; GROSSEAU, P. Some aspects of cellulose ethers influence on water transport and porous structure of cement-based materials. **Cement and Concrete Research**, v. 40, n. 2, p. 242-252, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.09.028>.

RASHAD, A. M. Vermiculite as a construction material – A short guide for Civil Engineer. **Construction and Building Materials**, v. 125, p. 53-62, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.019>.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos: dosagem, produção, propriedades e microestrutura**. 2003. 211 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. DOI: <https://dx.doi.org/10.11606/T.88.2003.tde-25102005-104002>.

SILVA, B. A.; PINTO, A. P. F.; GOMES, A.; CANDEIAS, A. Impact of a viscosity-modifying admixture on the properties of lime mortars. **Journal of Building Engineering**, v. 31, 101132, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101132>.

SILVA, J. C. **A influência da adição de fibras de polipropileno e vermiculita expandida em argamassas com nanotitânia**. 2015. 63 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Infraestrutura) – Centro de Engenharias da Mobilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/157140>. Acesso em: 11 ago. 2021.

SILVA, V. S. **Aderência de chapisco em concretos estruturais** – melhoria da microestrutura da zona de interface pela adição da sílica da casca de arroz. 2004. 229 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. DOI: <https://dx.doi.org/10.11606/T.88.2004.tde-16022007-103007>.

TEDESCO, T. D. C. **Desenvolvimento de argamassas utilizando granulometrias distintas de perlita**. 2016. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/165305>. Acesso em: 11 ago. 2021.

TIE, T. S.; MO, K. H.; ALENGARAM, U. J.; KALIYAVARADHAN, S. K.; LING, T.-C. Study on the use of lightweight expanded perlite and vermiculite aggregates in blended cement mortars. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 26, n. 8, p. 3612-3631, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/19648189.2020.1806934>.

VYŠVAŘIL, M.; BAYER, P. Cellulose ethers as water-retaining agents in natural hydraulic lime mortars. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE MODERN BUILDING MATERIALS, STRUCTURES AND TECHNIQUES, 13., 2019, Vilnius. **Proceedings** [...]. Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.3846/mbmst.2019.014>.

WYRZYKOWSKI, M.; KIESEWETTER, R.; KAUFMANN, J.; BAUMANN, R.; LURA, P. Pore structure of mortars with cellulose ether additions – Mercury intrusion porosimetry study. **Cement and Concrete Composites**, v. 53, p. 25-34, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.06.005>.

XAVIER, M. S. **Estudo das propriedades de argamassas com uso de vermiculita expandida como substituto parcial da areia natural**. 2018. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Multidisciplinar de Angicos,

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/2481>. Acesso em: 16 jun. 2021.

ZHANG, G.; HE, R.; LU, X.; WANG, P. Early hydration of calcium sulfoaluminate cement in the presence of hydroxyethyl methyl cellulose. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 134, p. 1429-1438, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7252-5>.

ZHANG, Y.; ZHAO, Q.; LIU, C.; ZHOU, M. Properties comparison of mortars with welan gum or cellulose ether. **Construction and Building Materials**, v. 102, n. 1, p. 648-653, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.116>.