

Estudo do uso de vermiculita expandida nas propriedades mecânicas de argamassas leves

Study of the use of expanded vermiculite in the mechanical properties of light mortars

Deize Daiane Pinto Guilherme¹, Kleber Cavalcanti Cabral²,
Wendell Rossine Medeiros de Souza³

^{1,2} Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, CP:59078-900, Natal, RN, Brasil.

^{2,3} Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Engenharia, CP:5951-5000, Angicos, RN, Brasil.

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, CP:59078-900, Natal, RN, Brasil.

e-mail: deize_daiane@hotmail.com, kleber.cabral@ufersa.edu.br, wendell@ufersa.edu.br

RESUMO

A busca por materiais alternativos que apresentem potencial para beneficiar as propriedades das argamassas está cada vez maior. A utilização de agregados leves é uma possibilidade que gera redução no peso próprio dos revestimentos e tendem a proporcionar grandes vantagens quanto ao isolamento térmico e acústico. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar o uso da vermiculita expandida nas propriedades mecânicas de argamassas leves. O procedimento experimental iniciou com a caracterização dos materiais e a produção das argamassas com proporções em volume de 1:1:6 (cimento: cal: areia) com substituições em volume de 25, 35 e 45% da areia pela vermiculita expandida, e em seguida ensaios no estado fresco (consistência, densidade e retenção de água) e no estado endurecido (densidade, resistência à compressão, módulo de elasticidade e resistência de aderência). Os resultados mostraram que a incorporação de vermiculita expandida diminui o fator água/aglomerantes, reduzindo a densidade de massa no estado fresco e endurecido. A retenção de água diminui para os teores de substituição de 25 e 35% e aumenta para 45% de substituição. A resistência de aderência é aumentada, ao passo que a resistência à compressão e o módulo de elasticidade é reduzida. Portanto, o uso da vermiculita expandida em argamassas de revestimento apresenta grande potencial de substituição parcial ao agregado natural, para a elaboração de argamassas leves.

Palavras-chave: argamassa leve, propriedades mecânicas, vermiculita expandida.

ABSTRACT

The search for alternative materials with the potential to benefit the properties of the mortar is growing. The use of lightweight aggregates is a possibility that generates reduction in the weight of the coating itself and tend to provide great advantages as regards the thermal and acoustic insulation. Therefore, the objective of this study is to analyze the use of expanded vermiculite in the mechanical properties of light mortars. The experimental procedure started with the characterization of the materials and the production of mortars with proportions in volume of 1: 1: 6 (cement: lime: sand) with substitutions in volume of 25, 35 and 45% of the sand for the expanded vermiculite, and in then testing the fresh state (consistency, density and water retention) and in the hardened state (density, compressive strength, modulus of elasticity and adhesive strength). The results showed that the incorporation of expanded vermiculite decreases the water / binders factor, reducing the mass density in the fresh and hardened state. Water retention decreases for substitution levels of 25 and 35% and increases to 45% substitution. The bond strength is increased, while the compressive strength and the modulus of elasticity is reduced. Therefore, the use of expanded vermiculite in coating mortars has great potential for partial replacement to the natural aggregate, for the preparation of light mortars.

Keywords: light mortar, mechanical properties, expanded vermiculite.

1. INTRODUÇÃO

As argamassas de revestimento exercem um papel importante na durabilidade, salubridade e conforto das edificações, além de influenciar no aspecto estético. Essas características são proporcionadas pelas funções das argamassas, como proteção contra intemperismo, isolamento térmico e acústico, estanqueidade, segurança ao fogo etc. Para desempenhar todas essas funções é fundamental utilizar materiais adequados na sua composição, de acordo com a finalidade de aplicação.

Segundo MEHTA e MONTEIRO [15] o agregado representa uma grande influência em relação à resistência, estabilidade dimensional e durabilidade dos materiais compósitos, portanto não deve ser tratado com menor significância que o cimento. Os agregados comumente utilizados na construção são de origem natural e estão ocasionalmente expostos à escassez e até ao esgotamento [13].

Com isso, a utilização de agregados alternativos e artificiais tem aumentado. Além da escassez das jazidas de areia natural, há uma preocupação em relação a contaminação das fontes e restrições ambientais para locais de extração [9]. Portanto, é necessário investigar e estudar o uso de materiais alternativos, com o objetivo de obter um incremento no desempenho das funções das argamassas, ou comportamento similar, mas com benefícios em outros aspectos, como redução de custos, melhoria ambiental etc.

Uma alternativa é o uso de agregados leves artificiais ou reciclados de resíduos. Segundo SIDORAVA *et al* [18], os agregados leves utilizados em sua pesquisa (concreto e cerâmica reciclados) melhoram a qualidade da zona de transição interfacial, pois sua porosidade absorve a água da pasta, reduzindo o filme de água ao redor do agregado.

Os agregados leves possuem massa específica menor do que os materiais convencionais, portanto argamassas com incorporação destes agregados apresentam densidade de massa menor e reduzem o peso próprio dos revestimentos. MO *et al* [16] afirma que agregados leves tendem a proporcionar grandes benefícios quanto ao isolamento térmico e acústico, devido a estrutura porosa que possuem.

A vermiculita expandida é considerada um agregado leve, devido ao seu baixo valor de massa específica aparente. É um mineral semelhante à mica, com flocos brilhantes, membro do grupo filossilicato, podendo ser expandido até 30 vezes o seu volume original quando aquecido a 650 – 950° C. A estrutura formada após o aquecimento possui alta porosidade e uma grande quantidade de vazios preenchidos por ar [12].

Apesar do grande potencial de argamassas com agregados leves no desempenho térmico, é necessário analisar o cumprimento das propriedades mecânicas, para viabilizar a sua aplicação. Portanto, o presente trabalho visa analisar o comportamento mecânico em argamassas leves de revestimento utilizando a vermiculita expandida, em porcentagens de 25, 35 e 45% como substituição ao agregado natural.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa foi utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial e resistente a sulfatos (CP V ARI-RS), cal hidratada do tipo CH-I, dois tipos de agregados miúdos, sendo: areia natural (AN) fina e a vermiculita expandida (V). A Tabela 1 apresenta as propriedades físicas dos agregados e a Figura 1 a distribuição granulométrica dos agregados. A caracterização microestrutural da vermiculita expandida foi realizada por meio de microscopia eletrônica de varredura (Figura 2). A água utilizada na produção das argamassas foi potável, proveniente da rede de distribuição local.

Tabela 1: Propriedades físicas dos agregados

PROPRIEDADES	AREIA NATURAL	VERMICULITA EXPANDIDA
Dimensão máxima (mm)	1,2	2,4
Módulo de finura	2,6	3,7
Massa específica (g/cm ³)	2,28	0,58
Massa unitária (g/cm ³)	1,32	0,18

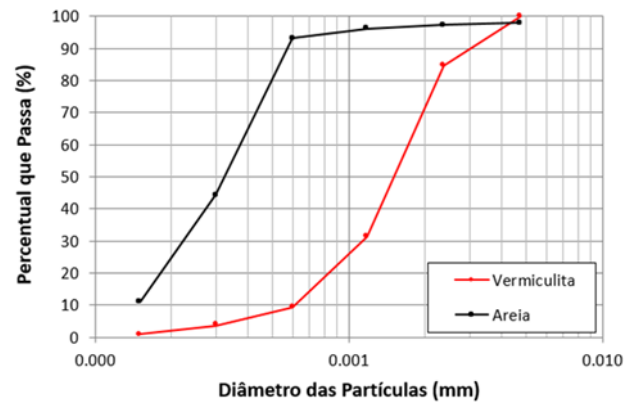


Figura 1: Distribuição granulométrica da areia natural e vermiculita expandida

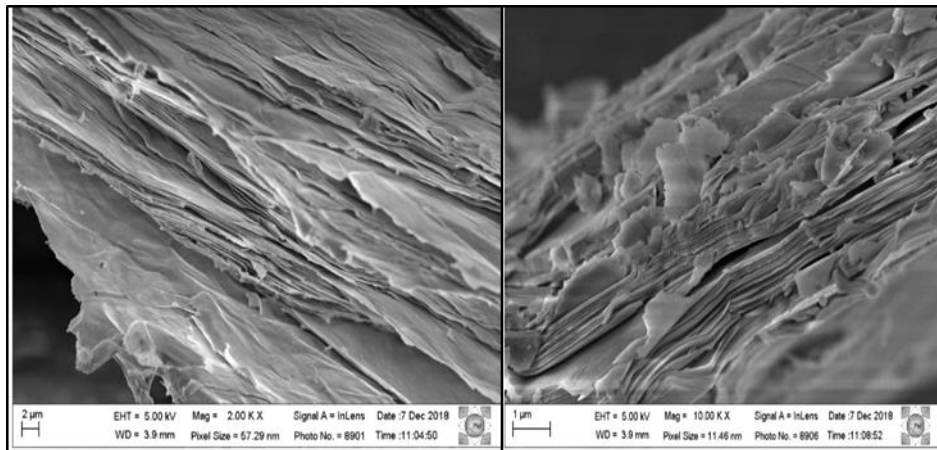


Figura 2: Imagens do MEV da vermiculita expandida

As imagens, apresentadas na Figura 2, comprovam a alta porosidade e a estrutura lamelar do mineral, características que tendem a favorecer o uso da vermiculita expandida como um material de baixo peso específico, adequado ao uso em argamassas leves.

2.1 Produção das argamassas

Para confecção das argamassas foi adotado a composição de 1:1:6 (cimento, cal, areia) em volume. O teor de substituição do agregado natural pela vermiculita expandida foi de 25, 35 e 45% (em volume) para um índice de consistência de 260 ± 5 mm, tendo como parâmetro uma argamassa de referência, sem substituição.

Para a realização dos ensaios no estado endurecido foram confeccionados corpos de prova prismáticos nas dimensões 4x4x16cm. Todos os corpos de prova foram desmoldados após 48h. A cura dos corpos de prova ocorreu durante 28 dias, em temperatura ambiente, de acordo com a NBR 13279 [4].

As misturas em massa e volume foram calculadas a partir da massa unitária dos materiais constituintes, conforme apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Misturas em massa e volume

NOMENCLATURA	TEOR DE SUBSTITUIÇÃO	MISTURA EM VOLUME CIM:CAL:AGRE:VERM	MISTURA EM MASSA CIM:CAL:AREIA:VERM
AR	0%	1:1:6,0:0,0	1:0,4:7,92:0,00
A25	25%	1:1:4,5:1,5	1:0,4:5,96:0,27
A35	35%	1:1:3,9:2,1	1:0,4:5,14:0,38
A45	45%	1:2:3,3:2,7	1:0,4:4,35:0,48

2.2 Ensaios no estado fresco e endurecido

Os ensaios no estado fresco e endurecido foram realizados conforme as diretrizes das normas vigentes, apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Ensaios no estado fresco e endurecido

PROPRIEDADE	NBR
Índice de consistência	13276/2005 [1]
Densidade de massa e teor de ar incorporado	13278/2005 [3]
Retenção de água	13277/2005 [2]
Determinação da densidade de massa no estado “endurecido”	13280/2005 [5]
Determinação do módulo de elasticidade dinâmico	15630/2009 [7]
Resistência à compressão	13279/2005 [4]
Resistência de aderência à tração	13528/2010 [8]

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Consistência

O ensaio de consistência determinou a quantidade de água necessária para atingir o espalhamento de 260 ± 5mm. A Tabela 4 apresenta a relação água/aglomerantes para cada mistura.

Tabela 4: Relação água/aglomerantes

NOMENCLATURA	RELAÇÃO ÁGUA/AGLOMERANTES
AR	1,862
A25	1,838
A35	1,715
A45	1,667

Através dos dados apresentados na Tabela 4, nota-se uma pequena redução na quantidade de água, a medida em que se aumenta a quantidade de vermiculita expandida, em substituição ao agregado natural. A argamassa de referência, sem substituição da vermiculita expandida, apresentou um maior consumo de água comparada as demais composições, isso aconteceu, devido a maior quantidade de finos, que apresentam uma maior área específica, conforme apresentado na Figura 1, ocasionando um maior

consumo de água. Sendo assim, com o aumento do percentual de substituição do agregado natural pela vermiculita, a quantidade de água requerida para garantir a trabalhabilidade prescrita de $260 \pm 5\text{mm}$, diminui, pois, a quantidade de finos reduz e, conseqüentemente, ocorre uma quantidade menor de água para proporcionar a coesão das partículas.

A melhoria da trabalhabilidade das argamassas estudadas, de acordo com o aumento da incorporação da vermiculita, também pode ser explicada devido a maior quantidade de ar presente na mistura, já que a estrutura da vermiculita após ser expandida torna-se fragmentos de lamelas separados por ar [7].

Assim como nesta pesquisa, os autores KOKSAL *et al* [12] também comprovam um aumento na trabalhabilidade de argamassas contendo vermiculita quando aumentaram a relação vermiculita/cimento. MO *et al* [16] afirmam que a incorporação da vermiculita expandida como substituição a areia natural melhorou a trabalhabilidade. Os autores atribuem esse aumento ao menor teor de finos da vermiculita em relação a areia natural. RASHAD [17] afirma que a trabalhabilidade de argamassas contendo vermiculita expandida precisa de mais investigações.

3.2 Densidade de massa no estado fresco

Os valores de densidade de massa aparente das argamassas no estado fresco estão dispostos na Figura 3.

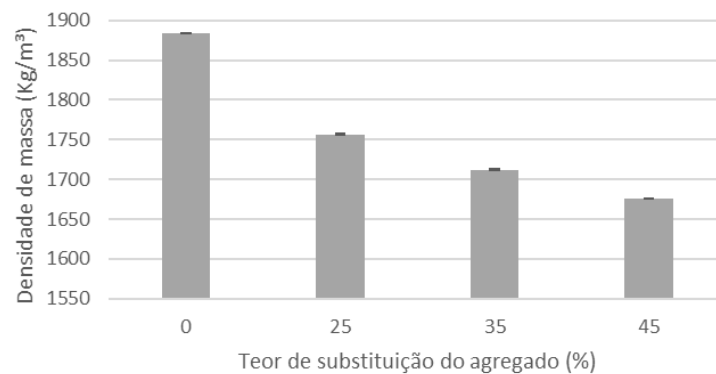


Figura 3: Densidade de massa média no estado fresco.

Percebe-se que as argamassas com vermiculita expandida apresentaram, em comparação a argamassas de referência, menor densidade de massa, o que era esperado devido a menor massa específica da vermiculita. Segundo a classificação de CARASEK [10], quanto à densidade de massa das argamassas no estado fresco, todas as argamassas analisadas são classificadas como normais, visto que suas densidades de massa foram maiores que 1400kg/m^3 e menores que 2300kg/m^3 e, assim, podem ser utilizadas em revestimento.

A redução da densidade da argamassa de referência para o teor de substituição de 25% do agregado natural pela vermiculita foi de quase 7%. As argamassas com 35 e 45% de substituição reduziram 9 e 11%, respectivamente. Os pesquisadores KOKSAL *et al* [12]; CINTRA [11], RASHAD [17] e MO *et al*. [16] afirmam que a densidade de massa no estado fresco é reduzida com o incremento da vermiculita expandida, e isso ocorre devido à natureza porosa e mais leve da vermiculita, que é causada pelo processo de esfoliação durante a produção do material

Uma das principais vantagens de uma argamassa mais leve é que, para o mesmo volume de argamassa, a quantidade de massa a ser transportada é menor [14] e, conseqüentemente, reduz o esforço do operário e aumenta a produtividade [10]. Além disso, existe uma relação entre a densidade de massa e a condutividade térmica, materiais com menor densidade apresentam um alto desempenho térmico [12].

3.3 Retenção de água

Os percentuais de retenção de água das argamassas estudadas estão apresentados na Figura 4. Como a vermiculita possui uma estrutura porosa, esperava-se que a retenção de água aumentasse de acordo com o aumento do teor de substituição do agregado. Porém, a argamassa de referência apresentou maior porcentagem de retenção de água, provavelmente por ser a composição com maior quantidade de finos e relação água/aglomerantes. As argamassas com 25 e 35% de substituição da areia natural pela vermiculita

apresentaram redução na retenção de água, este fato pode ter ocorrido devido ao tempo de ensaio ser pouco em relação a capacidade de absorção do material. A mistura com 45% aumentou a retenção de água, possivelmente pela quantidade maior do agregado poroso.

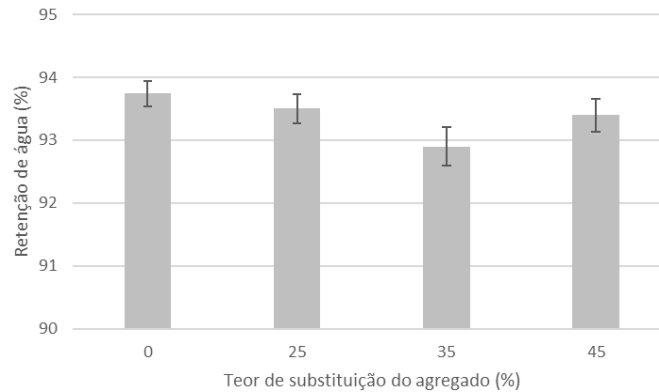


Figura 4: Retenção média de água

Todas as argamassas em análise apresentaram capacidade de retenção de água superior a 90%, ou seja, são capazes de reter mais de 90% da água utilizada na mistura, o que é favorável, pois permite a melhor hidratação do cimento, a manutenção de sua trabalhabilidade por um longo período de tempo e, conseqüentemente, resulta em ganhos de resistência mecânica e de aderência [10]. Porém, os resultados de resistência mecânica obtidos nesta pesquisa não apresentaram relação com os de retenção de água e os valores de resistência de aderência foram inversamente proporcionais, isso pode ter ocorrido porque as argamassas com maiores retenções de água têm menores trocas com o substrato, que diminui a relação entre os materiais e prejudica a aderência.

3.4 Densidade de massa no estado endurecido

A densidade de massa das argamassas no estado endurecido apresenta redução proporcional ao acréscimo do teor de substituição do agregado natural pela vermiculita. XU *et al* [20] ao substituírem 100% da areia natural por parafina/vermiculita expandida obtiveram uma redução de 24,67% na densidade da argamassa aos 28 dias de idade quando comparada a referência. Nesta pesquisa, com a substituição de 45% do agregado pela vermiculita houve redução de 17% em relação a argamassa sem substituição. Os resultados da densidade de massa das argamassas no estado endurecido, aos 28 dias de idade, são apresentados na Figura 5.

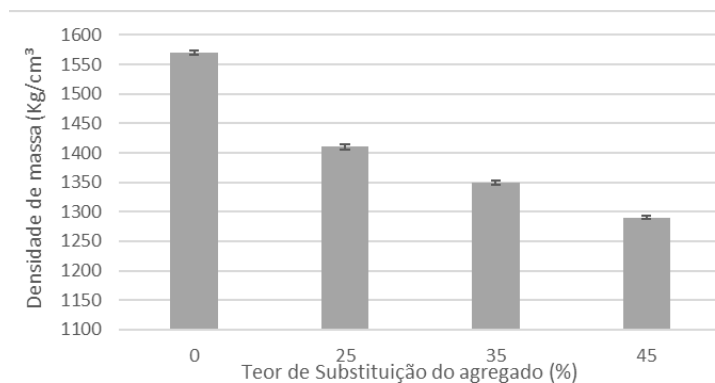


Figura 5: Densidade de massa média no estado endurecido.

3.4 Resistências à compressão

O resultado de resistência à compressão aos 28 dias de idade é apresentado na Figura 6. Nota-se que o valor diminui de acordo com o aumento do teor de substituição do agregado natural pela vermiculita, o que já era esperado, pois a microestrutura da vermiculita é porosa e sua densidade é menor em relação a areia.

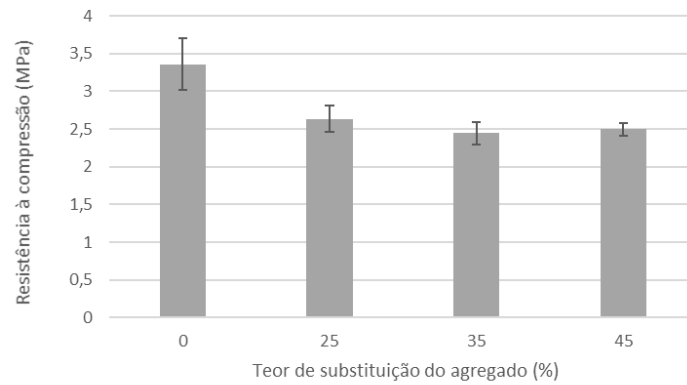


Figura 6: Resistência média à compressão

Há uma redução de 21% da resistência à compressão na composição com 25% de substituição do agregado, quando comparado à argamassa de referência. As composições com 35 e 45% apresentam resultados semelhantes, dentro da variação, reduzindo a resistência à compressão em aproximadamente de 26%.

MO *et al* [16] encontraram uma redução da resistência à compressão de 50% e 63% quando a vermiculita expandida foi incorporada em substituições de volume de 30% e 60%, respectivamente. Os autores atribuem essa diminuição ao fato da vermiculita expandida possuir uma estrutura porosa, além de afirmar que a pequena quantidade de finos pode dificultar o empacotamento das partículas e afetar negativamente na resistência. As pesquisas desenvolvidas por CINTRA [11], KOKSAL *et al* [12] e XU *et al* [20] também relataram redução na resistência à compressão.

3.5 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade dinâmico para cada composição de argamassa (Figura 7) apresentou redução proporcional ao acréscimo do teor de substituição do agregado natural pela vermiculita.

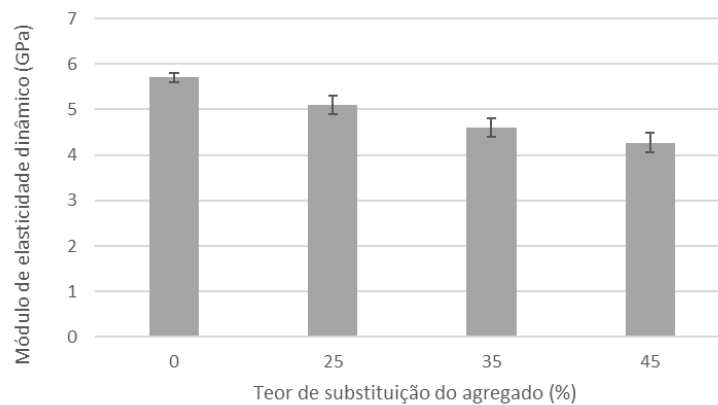


Figura 7: Módulo de elasticidade dinâmico médio

As argamassas com incorporação da vermiculita expandida reduziram o módulo de elasticidade em 10, 19 e 25%, para as misturas com substituição de 25, 35 e 45%, respectivamente, em relação a composição de referência. Essa redução pode ser explicada devido à estrutura porosa da vermiculita, que dificulta a passagem do pulso ultrassônico, apresentando uma redução no módulo de elasticidade.

As argamassas de revestimento devem ser capazes de absorver as deformações de contrações e expansões causadas pela perda de água para o substrato ou por evaporação e pelas variações térmicas. Argamassas com módulos de elasticidade mais baixos possuem maior capacidade de deformação SILVA *et al* [19].

3.6 Resistência de aderência

Os resultados do ensaio de resistência de aderência das argamassas são encontrados na Figura 8. Verifica-se que todos os valores nas misturas com substituição são superiores ao de referência, o que é contrário as demais pesquisas e aos resultados do ensaio de compressão.

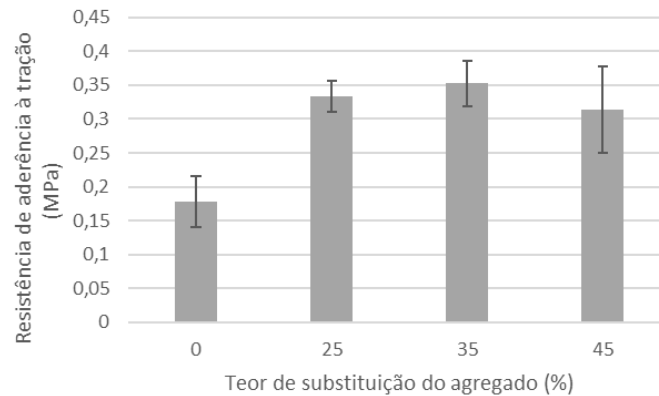


Figura 8: Resistência de aderência à tração média

Todas as argamassas com substituição do agregado natural pela vermiculita apresentaram resultados acima do valor mínimo (0,20 MPa para parede interna e teto) determinado pela NBR 13749 [7]. A argamassa sem substituição atingiu esse valor dentro do desvio padrão. A argamassa com 25% de teor de substituição apresentou um aumento de 46% na resistência de aderência, quando comparada a argamassa de referência, as misturas com 35 e 45% apresentaram comportamento semelhante.

Além dos valores de resistência, é importante destacar também o tipo de ruptura dos corpos de prova resultantes do arrancamento. Nesta pesquisa, praticamente todos os revestimentos obtiveram ruptura na própria argamassa, conforme mostra a Figura 9.



Figura 9: Tipo de ruptura

De acordo com a NBR 13528 [6] quando a ruptura ocorre na argamassa, a resistência a aderência não foi determinada e é maior do que o valor obtido no ensaio.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais realizados neste estudo, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- i. O fator água/aglomerantes diminuiu de acordo com a incorporação de vermiculita expandida, provavelmente devido a menor quantidade de finos presentes na granulometria da vermiculita expandida;
- ii. As argamassas com substituição do agregado natural pela vermiculita expandida apresentaram menor densidade de massa, no estado fresco e endurecido, em comparação

- a argamassas de referência;
- iii. Os teores de 25 e 35% de substituição apresentaram redução na retenção de água, e o de 45% aumentou;
 - iv. A resistência à compressão e o módulo de elasticidade reduziram com a incorporação da vermiculita expandida nas argamassas, devido a estrutura porosa da vermiculita expandida, que reduz a quantidade de matéria;
 - v. A resistência de aderência aumentou com a substituição do agregado natural pela vermiculita expandida, obtendo resultados semelhante em todos os teores de substituição.

Portanto, o estudo mostra que o uso da vermiculita expandida em argamassas de revestimento torna-se viável, nas condições de granulometria e teores analisados, em relação as propriedades mecânicas. Apesar da redução da resistência à compressão, as demais propriedades avaliadas foram beneficiadas e podem melhorar o desempenho de acordo com a sua aplicação.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
- [2] NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1995.
- [3] 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, 2005.
- [4] 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, 2005.
- [5] NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
- [6] NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- [7] ABNT. NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- [8] ABNT. 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, 2009.
- [9] CAMARINI, G.; SOARES, M.S. “Propriedades de argamassas de cimento produzidas com resíduo de isolador de porcelana” *Matéria*, v.23, n1, 2018.
- [10] CARASEK, H. Argamassas. Capítulo 26. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. 2 ed. IBRACON, v.1 e v.2. pp. 863-891, 2010.
- [11] CINTRA, C.L.D.; PAIVA, A.E.M.; BALDO, J.B. “Masonry mortars containing expanded vermiculite and rubber aggregates from recycled tires - Relevant properties”, *Cerâmica*, v. 60, pp. 69-76, Jan, 2014.
- [12] KOKSAL, F., GENÇEL, O., KAYA, M. “Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures”, *Construction and Building Materials*, v. 88 pp. 175-187, Jul.2015
- [13] LATROCH, N.; BENOSMAN, A.S.; BOUHAMOU, N.; *et al.*, “Physico-mechanical and thermal properties of composite mortars containing lightweight aggregates of expanded polyvinyl chloride”, *Construction and Building Materials*. v.175, pp. 77-87, Jun. 2018.
- [14] LEDESMA, E. F.; JIMÉNEZ, J. R.; AYUSO, J.; *et al.*, “Maximum feasible use of recycled sand from construction and demolition waste for eco-mortar production–Part-I: ceramic masonry waste”, *Journal of Cleaner Production*, v. 87, pp. 692-706, Jan. 2015.
- [15] MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J., *CONCRETO: Estrutura, Propriedades e Materiais*, 3 ed., São Paulo - Pini, 2008.
- [16] MO, K.H.; LEE, H.J.; LIU, M.Y.J.; *et al.*, “Incorporation of expanded vermiculite lightweight aggregate in cement mortar”, *Construction and Building Materials*, v.179, pp. 302- 306, Ago. 2018.

- [17] RASHAD, A.M. “Vermiculite as a construction material – A short guide for Civil Engineer” *Construction and Building Materials*, v. 125, pp. 53-62, Out.2016.
- [18] SIDORAVA, A., VAZQUEZ-RAMONICH, E., BARRA-BIZINOTTO M., *et al.*, “Study of the recycled aggregates nature’s influence on the aggregate–cement paste interface and ITZ”, *Construction and Building Materials*, v.68, pp. 677-684, Oct.2014.
- [19] SILVA, R. V.; BRITO, J.; DHIR, R. K. “ Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes”, *Construction and Building Materials*, v. 105, pp. 400-415, Fev. 2016.
- [20] XU, B., MA, H., LU, Z., *et al.*, “Paraffin/expanded vermiculite composite phase change material as aggregate for develop lightweight thermal energy storage cement-based composites”, *Construction and Building Materials*, v. 160, pp. 358-367, Dez. 2015.

ORCID

Deize Daiane Pinto Guilherme

<https://orcid.org/0000-0001-8425-7310>

Kleber Cavalcanti Cabral

<https://orcid.org/0000-0001-7502-3002>

Wendell Rossine Medeiros de Souza

<https://orcid.org/0000-0002-4704-898X>