



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

AMANDA LORENA DANTAS DE AGUIAR

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM
INCORPORAÇÃO DA VERMICULITA EXPANDIDA**

**NATAL-RN
2017**

Amanda Lorena Dantas de Aguiar

Estudo das propriedades tecnológicas da argamassa de revestimento com incorporação da vermiculita expandida

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Artigo Científico, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Jaquelgia Brito da Silva

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Andreza Kelly Costa Nóbrega

Natal-RN
2017

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Aguiar, Amanda Lorena Dantas de.

Estudo das propriedades tecnológicas da argamassa de revestimento com incorporação da vermiculita expandida / Amanda Lorena Dantas de Aguiar. - 2017.

20 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Graduação em Engenharia Civil. Natal, RN, 2017.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Jaquelígia Brito da Silva.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Andreza Kelly Costa Nóbrega.

1. Argamassa - Monografia. 2. Vermiculita - Monografia. 3. Agregados leves - Monografia. I. Silva, Jaquelígia Brito da. II. Nóbrega, Andreza Kelly Costa. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 666.97

Amanda Lorena Dantas de Aguiar

Estudo das propriedades tecnológicas da argamassa de revestimento com incorporação da vermiculita expandida

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Artigo Científico, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 02 de junho de 2017:

Prof^a. Dr^a. Jaquelígia Brito da Silva – Orientadora

Prof^a. Dr^a. Andreza Kelly Costa Nóbrega – Coorientadora

Prof. Dr. Marcos Lacerda Almeida – Examinador interno

Me. João José Melo dos Santos – Examinador externo

RESUMO

É cada vez mais intensa a busca por materiais de construção que venham a proporcionar avanços, principalmente quanto ao aspecto de eficiência energética de edifícios. Nesse contexto, é crescente o número de pesquisas, na área da construção civil, voltadas a estudar o emprego de agregados leves, como a vermiculita. A vermiculita é um mineral natural, que possui importantes propriedades, além da sua baixa densidade, tais como: baixa condutividade térmica e elevada resistência ao fogo. Na presente pesquisa, se estudou o desempenho de quatro amostras de argamassa com incorporação de vermiculita expandida em porcentagens definidas de substituição de agregado miúdo em volume (25%, 50% e 100%). A vermiculita expandida foi caracterizada quanto à massa unitária, granulometria, microscopia eletrônica de varredura, difratometria de raios X e fluorescência de raios X. Foram realizados os ensaios de índice de consistência, densidade de massa e retenção de água, para o estado fresco, e resistência à tração na flexão, resistência à compressão, densidade de massa aparente, absorção de água por capilaridade, índice de vazios, módulo de elasticidade e condutividade térmica, para o estado endurecido. Os resultados mostraram que com a incorporação da vermiculita houve uma redução no índice de consistência, aumentando-se também a retenção de água e o índice de vazios. A densidade de massa nos estados fresco e endurecido diminuiu, tornando a argamassa mais leve. Os melhores resultados obtidos foram para a argamassa com 25% de incorporação de vermiculita expandida, havendo a redução de 15% da condutividade térmica, 11,31% de absorção de água por capilaridade e de apenas 3,16% da resistência à tração na flexão e 1,97% resistência à compressão.

Palavras-chave: Argamassa, vermiculita e agregados leves.

ABSTRACT

The search for construction materials that will bring advances, especially in the energy efficiency aspect of buildings, is progressing intensively. In this context, the number of researches, in the field of civil construction, is increasing, aiming to study the use of light aggregates, such as vermiculite. The vermiculite is a natural mineral, which has important properties, in addition to its low density, such as: low thermal conductivity and high resistance to fire. In the present research, the performance of four mortar samples with expanded vermiculite was determined in defined percentages of replacement of the aggregate in volume (25%, 50% and 100%). The expanded vermiculite was characterized by unit mass, particle size, scanning electron microscopy, X ray diffraction and X ray fluorescence. The consistency index, mass density and water retention were tested for the fresh state, and tensile strength in flexion, compressive strength, apparent mass density, water absorption by capillarity, void index, elasticity modulus and thermal conductivity, for the hardened state. The results showed that with a vermiculite incorporation there was a reduction in the consistency index, increasing also the retention of water and the void index. The mass density in the fresh and hardened states decreased, making the mortar lighter. The best results were obtained for mortar with 25% expanded vermiculite incorporation, with a reduction of 15% in thermal conductivity, 11.31% in water absorption by capillarity and only 3.16% of tensile strength in flexion and 1.97% of compressive strength.

Keywords: Mortars, vermiculite and lightweight aggregates.

1. INTRODUÇÃO

As primeiras argamassas foram descobertas na localidade de Yftah'el, Galileia, hoje estado de Israel, há mais de 10000 anos. Por volta de 8000 – 7000 a.C., evidenciava-se a utilização de cal e gesso nas construções em Jericó e o uso de gesso como reboco de parede na Turquia. Anos depois, nas cisternas de Jerusalém, foram encontradas argamassas hidráulicas. (ALVAREZ et al., 2005).

A NBR 13281 (ABNT, 2005) define argamassa como uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

SOUSA (2010) destaca que uma argamassa consiste numa pedra artificial resultante da mistura homogênea de um agente ligante com agregados e água. Sua denominação é em função do componente ligante ativo. Assim, têm-se argamassas de cimento, gesso, cal, ou mistas de cimento e cal ou gesso e cal.

A argamassa apresenta diversos tipos de uso de acordo com a função que ela é requerida. Para construção de alvenarias têm-se argamassa de assentamento e de fixação (ou encunhamento); para revestimento de paredes e tetos as argamassas são denominadas como chapisco, emboço, reboco, camada única e revestimento monocamada decorativo; para revestimento de pisos elas são do tipo argamassa de contrapiso e de alta resistência para piso; para revestimentos cerâmicos têm-se argamassa de assentamento de peças cerâmicas (colante) e de rejuntamento; e para recuperação de estruturas ela é definida como argamassa de reparo.

Como material de construção, a argamassa justifica sua importância através de suas funções. São algumas delas: unir com solidez elementos de alvenaria e ajudar na resistência a esforços horizontais, perpendiculares ou paralelos ao plano de uma parede, absorver deformações que ocorrem nas alvenarias, selar as juntas contra infiltração de água, colar materiais de revestimento, proporcionar isolamento térmico e acústico dos ambientes, dar acabamento em tetos e paredes, regularização de pavimentos, na reparação de obras de concreto (NASCIMENTO, 2008).

Ao passo que é bastante utilizada, a argamassa é um material que sofre muito desperdício. A pesquisa nacional “Alternativas para a Redução do Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obra”, coordenada pelo Departamento de Engenharia de Construção Civil na Escola Politécnica da USP, que estudou 69 canteiros de obras distribuídos em doze estados brasileiros, é referência no Brasil e aponta que o material mais desperdiçado é a argamassa. (AGOPYAN et al., 1998). RIBEIRO (2015) investigou o desperdício de argamassa em sete empreendimentos e obteve como resultados que as perdas variaram de 6,38% até 150,02%.

Além disso, a indústria da construção civil tem sido alvo de questionamentos quanto ao tema de eficiência energética, que tem ganhado força e sendo essencial no mercado de trabalho. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) disponibiliza históricos mensais do consumo de energia elétrica em níveis nacionais e regionais. Em 2016, do total do consumo de energia elétrica no Brasil as edificações representaram 28,9%. No nordeste, as edificações representaram 33,6% da energia elétrica consumida na região. Os dados são atualizados pela Superintendência de Estudos Econômicos e Energéticos (SEE) da Diretoria de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais (DEA). Nesse contexto, a busca por materiais de construção que atendam aos requisitos de utilização

* Autora: Amanda Lorena Dantas de Aguiar, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

* Orientadora: Jaquéligia Brito da Silva, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Dr^a.

* Coorientadora: Andreza Kelly C. Nóbrega, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Dr^a.

com maior eficiência energética tem sido incessante. Existem vários minerais, compostos e materiais que são incorporados em materiais de construção convencionais para melhorar as suas propriedades de origem, tais como o conforto ambiental. São exemplos desses materiais que melhoram o conforto ambiental: lã de ovelha, casca de coco, resíduo de PET e vermiculita.

A incorporação de vermiculita à argamassa de revestimento melhora as propriedades de isolamento térmico das edificações, contribuindo positivamente em termos de eficiência energética. Além disso, a incorporação de vermiculita diminui o peso total da construção por possuir baixo peso específico.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo principal avaliar a potencialidade do uso da vermiculita expandida incorporada à argamassa de revestimento, a partir do estudo de suas propriedades tecnológicas, visando a confecção de argamassas com características de isolamento térmico e baixo peso específico que melhorem as condições de eficiência energética do material.

2. REVISÃO DE LITERATURA

De maneira geral, as argamassas são classificadas, segundo sua finalidade, em argamassa para assentamento e argamassa para revestimento (NASCIMENTO, 2008).

A NBR 13529 (ABNT, 1995) define revestimento de argamassa como “Cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final” e classifica os revestimentos, de acordo com o ambiente de exposição, em: revestimento em contato com o solo, revestimento externo e revestimento interno.

A argamassa de revestimento pode ser classificada, de acordo com o traço e a finalidade, em: chapisco, que deve garantir a aderência da alvenaria às demais camadas de revestimento, emboço, camada intermediária entre o chapisco e o reboco, reboco, camada de regularização, camada única, que substitui o emboço e o reboco por uma só camada com acabamento, e revestimento monocamada decorativo, que também constitui-se em uma única camada decorada e acabada sobre o substrato.

GUIMARÃES et al. (2004), no Guia das Argamassas nas Construções, da Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC), sugerem as proporções dos componentes da argamassa de acordo com as suas aplicações. Os traços mais usuais para revestimentos de paredes e tetos são determinados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Sugestão de traços para argamassa de revestimento

	Paredes			Teto
	Externa acima do solo	Externa abaixo do solo	Internas	
Chapisco	1:0:3	1:0:3	1:0:3	1:0:3
Emboço	1:1:6	1:1:6 ou 1:1/4:3	1:2:8 a 10	1:2:8 a 10
Reboco	1:1:6	1:1:6	0:1:3 ou 1:2:8 a 10	0:1:3 ou 1:2:8 a 10

Fonte: Adaptado de GUIMARÃES et al., 2004

As argamassas de cimento são mais resistentes quando comparadas às de cal, porém apresentam trabalhabilidade inferior a estas últimas. Portanto, faz-se necessário o incremento de cal para torná-las mais plásticas e proporcionar um melhor acabamento. Tais argamassas mistas de cimento e cal são utilizadas no preparo de paredes e pisos

para receberem revestimento cerâmico aplicado com argamassa colante, no próprio assentamento de revestimento cerâmico em pisos ou paredes e, especialmente, nos emboços de paredes e tetos (NASCIMENTO, 2008).

Segundo o Manual de Revestimentos de Argamassa, da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), argamassas industrializadas compõem-se de agregados com granulometria controlada, cimento Portland e aditivos especiais capazes de otimizar as propriedades das mesmas, tanto no estado fresco quanto no endurecido. São diversos os tipos de argamassa industrializada, que variam de acordo com sua aplicação. Entre eles, é importante citar: argamassa colante, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento, argamassa para rejuntamento, para aplicação em juntas de assentamento de placas cerâmicas, argamassa para assentamento e revestimento, que apresentam propriedade de aderência e endurecimento, argamassa de impermeabilização, com propriedades de impermeabilização e estanqueidade dos diversos componentes da construção, e argamassa para reforço e recuperação estrutural, com função de reforçar e recuperar falhas ou patologias em estruturas de concreto.

Em vista à aspiração do desenvolvimento de materiais que agridam menos o ambiente e possam contribuir positivamente em termos de eficiência energética, pesquisadores têm incorporado minerais ou resíduos minerais em argamassas. TEIXEIRA (2013) utilizou os produtos da combustão do carvão mineral em argamassas de assentamento e revestimento, em substituição parcial do cimento. Foram realizados testes de resistência à tração na flexão e resistência à compressão, absorção de água, determinação do índice de vazios e massa específica aparente. Os resultados mostraram-se compatíveis quando comparados aos da literatura, demonstrando a viabilidade do uso destes produtos na construção civil. CINTRA (2014), por sua vez, fez uso da vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus para a produção de argamassas de revestimento. As argamassas desenvolvidas apresentaram resultados satisfatórios quanto às propriedades físicas no estado fresco e endurecido e principalmente quanto à resistência à compressão e aderência à tração, indicando viabilidade de emprego na produção deste material. LEITE (2016) avaliou a influência da vermiculita em argamassa geopolimérica e obteve uma redução na densidade aparente de 33% com a amostra com 15% de vermiculita e valor de resistência à compressão média de 3,15 MPa para a formulação com 10% de vermiculita, este último permite a aplicação da argamassa em blocos de alvenaria de construção civil.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Foi utilizado o cimento CP V ARI RS (Cimento Portland de alta resistência inicial e resistente ao ataque de sulfatos), fabricado e fornecido pela empresa Mizu, encontrado facilmente no comércio de materiais de construção local de com massa específica de 3,05 g/cm³ e massa unitária de 1,40 g/cm³.

A cal utilizada foi a CH I (Cal Hidratada tipo I), fabricada pela empresa Carbomil e obtida em uma distribuidora da cidade de João Pessoa/PB, tendo massa específica de 2,19 g/cm³ e massa unitária de 0,42 g/cm³.

A areia foi obtida no comércio local da cidade de Natal/RN. Trata-se de um agregado miúdo passante na peneira da série Normal de 4,78 mm, com massa específica de 2,59 g/cm³ e massa unitária de 1,51 g/cm³, diâmetro máximo de 2,40 mm e módulo de finura de 2,32. Antes de sua utilização a mesma foi submetida a secagem em estufa a 110°C por período de 24 horas.

A vermiculita expandida superfina foi fornecida pela Indústria e Comércio Paulista Ltda, de Santo Amaro/SP. Trata-se de agregado leve passante na peneira da série Normal de 4,78 mm de massa unitária de 0,122 g/cm³, diâmetro máximo de 4,80 mm e módulo de finura de 3,18.

3.2 Metodologia experimental

Adotou-se o traço em volume de 1:1:6 para as quatro misturas de argamassa, que consistiam em uma de referência e três com diferentes porcentagens de substituição de agregado miúdo por vermiculita. A argamassa de referência (REF), que é a base para as análises sobre o comportamento das demais misturas, é constituída apenas de Cimento Portland, cal, areia natural e água. As demais misturas foram desenvolvidas utilizando-se 25%, 50% e 100% de substituição em volume da areia natural pelo agregado leve, vermiculita expandida. As misturas utilizadas e seus respectivos traços são apresentados na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Consumo dos materiais secos em massa (g) - traços REF, 25%, 50% e 100%

	Cimento	Cal	Areia	Vermiculita
REF	371,7	156,1	2475,6	0,00
25%	379,0	158,0	1893,6	69,4
50%	352,0	146,8	1172,4	128,8
100%	372,3	155,2	0,00	272,5

Fonte: Autor, 2017

3.2.1 Caracterização da vermiculita expandida

O estudo da vermiculita expandida foi realizado caracterizando-a quanto à aspectos físicos, químicos e mineralógicos.

A massa unitária foi feita de acordo com o que estabelece na NBR 7251 (ABNT, 1982), sendo sua granulometria definida pelo fabricante como superfina e ensaiada de acordo com o que estabelece na NBR 11355 (ABNT, 2015). Ambos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da UFRN.

A análise química foi realizada através de fluorescência de raios X (FRX) realizada por um espectrômetro de fluorescência de raios X (EDX – 720, Shimadzu) para determinação dos elementos presentes na matéria-prima. A análise mineralógica da foi feita através de difratometria de raios X (DRX), realizada por um difratômetro de raios X (XRD – 7000, Shimadzu) para obtenção do diagrama que mostra o modelo de DRX nos planos estruturais. Ambos os ensaios foram realizados no laboratório de Difração e Fluorescência de raios X da UFRN.

A análise da microestrutura foi feita através de microscopia eletrônica de varredura (MEV), realizada por um microscópio eletrônico de varredura (TESCAN VEGA 3), do laboratório de Engenharia de Materiais da UFERSA, em diferentes escalas.

3.2.2 Ensaios da argamassa no estado fresco

De acordo com o prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 2005), foi preparada a mistura de argamassa e ajustada a quantidade de água que cada traço precisa ter para apresentar índice de consistência pré-fixado pela norma e, assim, ser considerada trabalhável.

A NBR 13278 (ABNT, 2005) estabelece a determinação da densidade de massa da argamassa no estado fresco a partir da equação 1:

$$d = \frac{M_c - M_v}{V_r} * 1000 \quad (1)$$

Onde:
d: densidade de massa da argamassa no estado fresco (kg/m³);
M_c: massa do recipiente cilíndrico, contendo a argamassa do ensaio (g);
M_v: massa do recipiente cilíndrico vazio (g);
V_r: volume do recipiente cilíndrico (cm³).

A retenção de água dos traços de argamassa, no estado fresco, foi determinada a partir do estabelecido na NBR 13277 (ABNT, 1995) de acordo com a equação 2:

$$Ra = \left[1 - \frac{(M_f - M_{se})}{AF * (M_{ma} - M_m)} \right] * 100 \quad (2)$$

Onde:
Ra: retenção de água (%);
AF: fator água/argamassa fresca;
M_f: massa do conjunto de discos molhados de papel-filtro (g);
M_{se}: massa do conjunto de discos secos (g);
M_{ma}: massa do molde com argamassa (g);
M_m: massa do molde vazio (g).

O fator água/argamassa fresca (AF) é definido de acordo com a equação 3:

$$AF = \frac{M_w}{M + M_w} \quad (3)$$

Onde:
M_w: massa total de água acrescentada à mistura (g);
M: soma das massas dos componentes anidros (g).

3.2.3 Ensaios da argamassa no estado endurecido

Os corpos de prova prismáticos de argamassa foram submetidos aos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, aos 7 e 28 dias de idade, obedecendo as prescrições da NBR 13279 (ABNT, 2005). A resistência à tração na flexão e à compressão são determinadas, respectivamente, segundo as equações 4 e 5:

$$R_f = \frac{1,5 * F_f * L}{40^3} \quad (4)$$

Onde:
R_f: resistência à tração na flexão (MPa);
F_f: carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N);
L: distância entre os suportes (mm).

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (5)$$

Onde:
R_c: resistência à compressão (MPa);
F_c: carga máxima aplicada (N).

O ensaio de densidade de massa aparente da argamassa no estado endurecido foi feito de acordo com a NBR 13280 (ABNT, 2005). Seu resultado é determinado pela equação 6:

$$\gamma_{ap} = 1000 * \frac{M}{V} \quad (6)$$

Onde:

γ_{ap} : densidade de massa aparente (kg/m³);

M: massa do corpo de prova (g);

V é o volume do corpo de prova (cm³).

A determinação da absorção de água por capilaridade foi realizada segundo prescrições da NBR 15259 (ABNT, 2005) e calculada segundo a equação 7:

$$A_t = \frac{M_t - M_0}{16} \quad (7)$$

Onde:

A_t : absorção de água por capilaridade, para cada tempo (g/cm²);

M_t : massa do corpo de prova em cada tempo (g);

M_0 : massa inicial do corpo de prova (g);

T: corresponde aos tempos de 10 min e 90 min (s).

O índice de vazios dos corpos de prova de argamassa foi determinado de acordo com NBR 9778 (ABNT, 2005) e calculada segundo a equação 8:

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} * 100 \quad (8)$$

Onde:

I_v : índice de vazios (%);

M_{sat} : massa do corpo de prova saturado (g);

M_s : massa do corpo de prova seco em estufa (g);

M_i : massa do corpo de prova saturado, imerso em água (g).

A determinação do módulo de elasticidade dinâmico foi feita por ensaio de emissão de pulso elétrico de baixa frequência ultrassônica usando-se o aparelho modelo “Tico”, da marca Proceq, com forma direta de leitura de velocidade de propagação da onda, de acordo com a NBR 15630 (ABNT, 2008) e calculada segundo a equação 9:

$$E_d = V^2 * \rho * \frac{(1 + \mu) * (1 - 2\mu)}{1 - \mu} \quad (9)$$

Onde:

E_d : módulo de elasticidade dinâmico (MPa);

V: velocidade de propagação da onda ultrassônica (mm/ μ s);

ρ : densidade de massa aparente do corpo de prova (kg/m³);

μ : coeficiente de Poisson. Adota-se nesta equação o valor de 0,2.

A condutividade térmica dos corpos de prova de argamassa foi determinada por ensaio baseado no método de fonte de calor linear transiente utilizando-se o aparelho modelo “KD2 PRO”, com leitura direta de condutividade térmica, resistividade, difusividade e calor específico.

4. RESULTADOS

4.1 Caracterização da vermiculita expandida

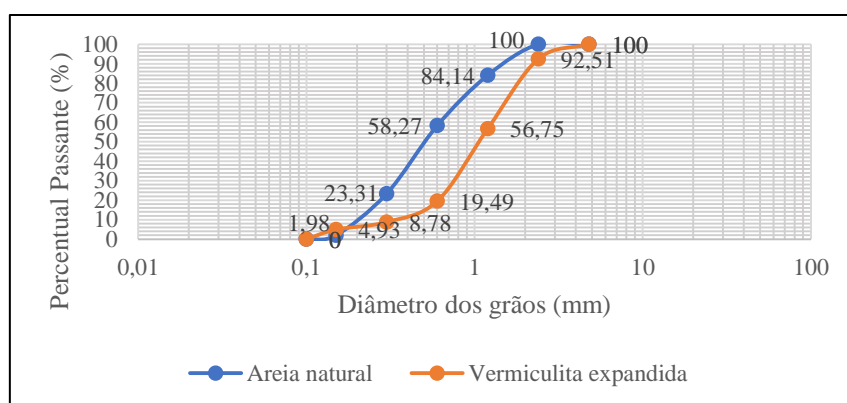
4.1.1 Massa unitária

A vermiculita expandida ensaiada apresentou valor de massa unitária de 0,122 g/cm³.

4.1.2 Análise granulométrica

A Figura 1 apresenta as curvas granulométricas da areia natural e da vermiculita expandida.

Figura 1 – Curvas granulométricas da areia natural e vermiculita expandida



Fonte: Autor, 2017

Na Tabela 3 estão representados os valores de módulo de finura e diâmetro máximo dos agregados estudados.

Tabela 3 – Módulo de finura e diâmetro máximo da areia natural e vermiculita expandida

	Módulo de Finura	Diâmetro máximo (mm)
Areia natural	2,32	2,4
Vermiculita expandida	3,18	4,8

Fonte: Autor, 2017

4.1.3 Análise química por fluorescência de raios X

A caracterização química da vermiculita expandida está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição química da vermiculita expandida

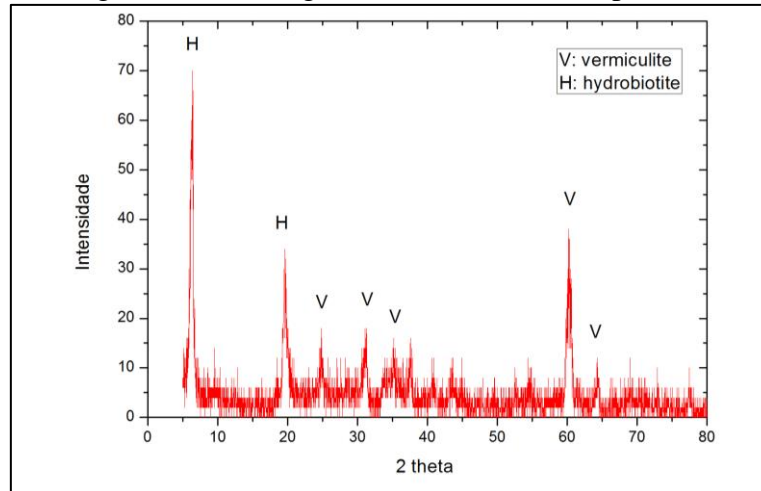
Elemento	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Cr	Ni	K ₂ O	CaO	MnO
Percentual (massa)	49,05	18,48	15,49	8,50	3,11	2,24	1,36	1,06	0,38	0,33

Fonte: Autor, 2017

4.1.4 Análise mineralógica por difração de raios X

A Figura 2 ilustra o difratograma da vermiculita expandida, que tem em sua composição mineralógica essencialmente hidrobiotita e vermiculita.

Figura 2 – Difratograma da vermiculita expandida

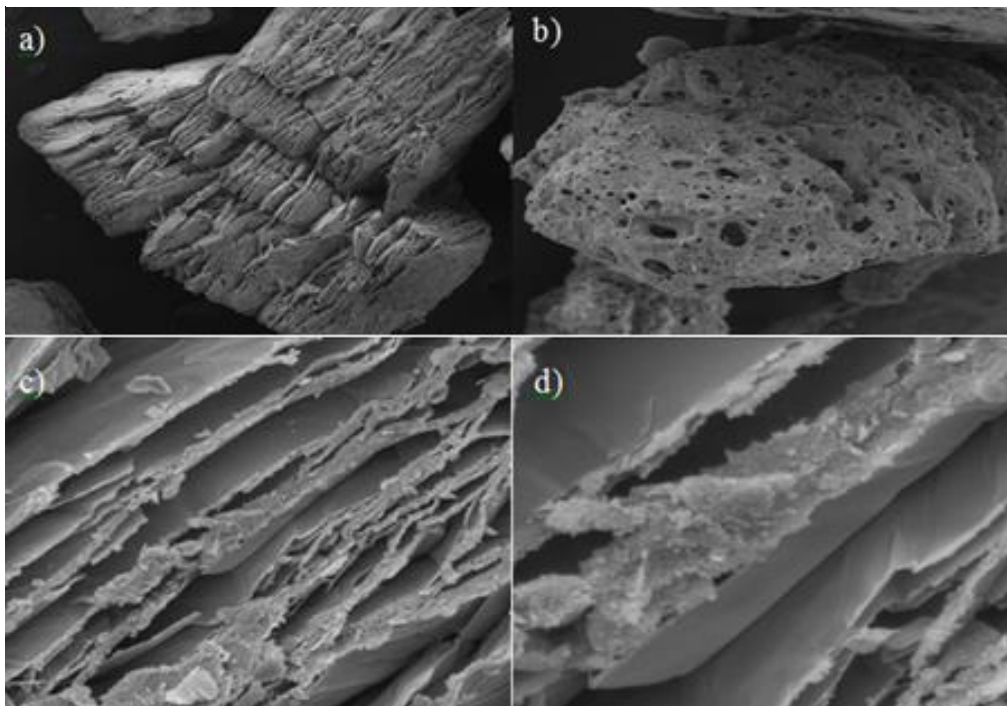


Fonte: Autor, 2017

4.1.5 Microscopia eletrônica de varredura

Na Figura 3 podem ser observadas as micrografias da vermiculita expandida, com aumento de 188x, 382x, 3010x e 10000x.

Figura 3 – Micrografias obtidas por MEV com aumento de: a) 188x; b) 382x; c) 3010x; e d) 10000x



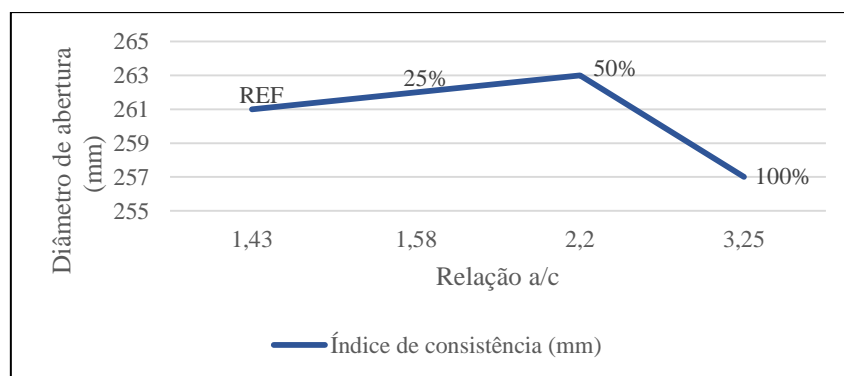
Fonte: Autor, 2017

4.2 Argamassa no estado fresco

4.2.1 Índice de consistência

Os resultados do ensaio de índice de consistência estão ilustrados na Figura 4. O gráfico mostra a relação do diâmetro de abertura com a relação água/cimento da argamassa para cada traço estudado.

Figura 4 – Gráfico de índice de consistência dos traços REF, 25%, 50% e 100%



Fonte: Autor, 2017

4.2.2 Densidade de massa

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados dos ensaios de densidade de massa da argamassa no estado fresco em seus diferentes traços.

Tabela 5 – Densidade de massa da argamassa no estado fresco

Traço	REF	25%	50%	100%
Densidade de massa (kg/m ³)	2041	1951	1751	1295

Fonte: Autor, 2017

4.2.3 Retenção de água

A Tabela 6 apresenta os resultados do ensaio de retenção de água da argamassa no estado fresco em seus diferentes traços.

Tabela 6 – Retenção de água da argamassa

Traço	REF	25%	50%	100%
Retenção de água (%)	87,88	88,96	91,72	94,69

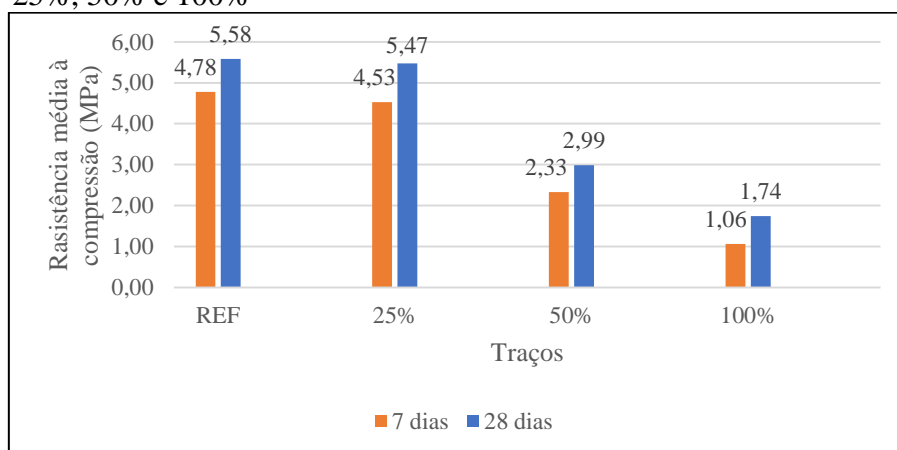
Fonte: Autor, 2017

4.3 Argamassa no estado endurecido

4.3.1 Resistência mecânica

Os resultados do ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova prismáticos aos 7 e 28 dias de idade estão representados na Figura 5.

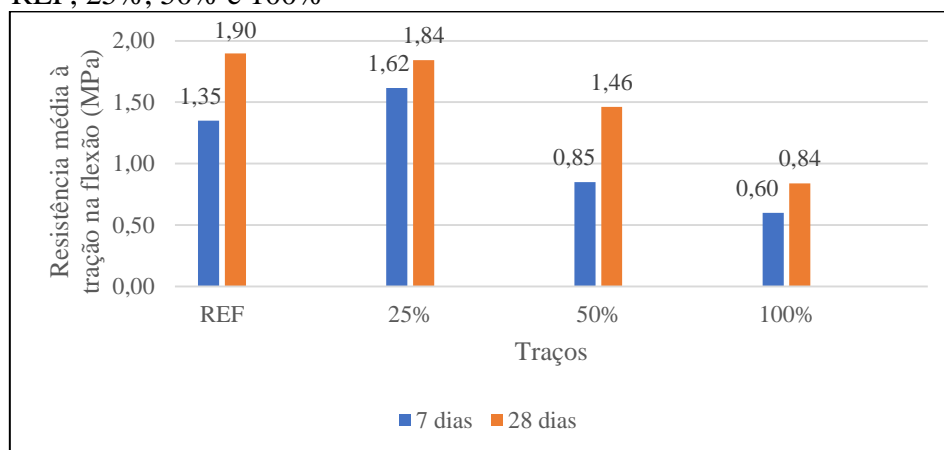
Figura 5 – Gráfico de resistência média à compressão dos traços REF, 25%, 50% e 100%



Fonte: Autor, 2017

A Figura 6 apresenta os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova prismáticos aos 7 e 28 dias de idade.

Figura 6 – Gráfico de resistência média à tração na flexão dos traços REF, 25%, 50% e 100%



Fonte: Autor, 2017

4.3.2 Densidade de massa aparente

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados dos ensaios de densidade de massa aparente e da argamassa no estado endurecido para cada traço estudado.

Tabela 7 – Densidade de massa aparente da argamassa no estado endurecido

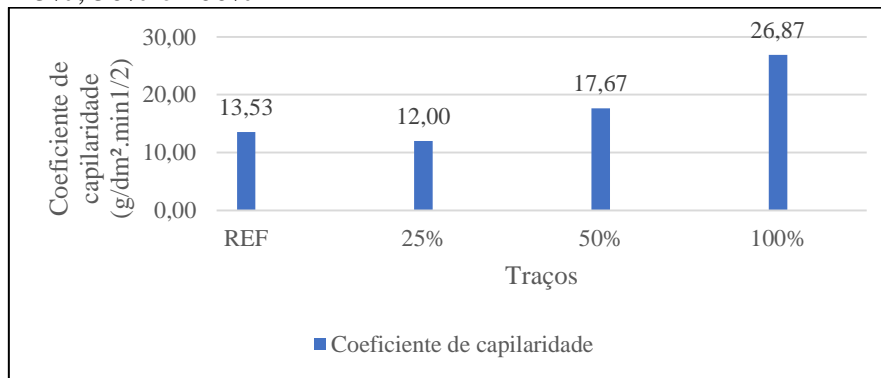
Traço	REF	25%	50%	100%
Densidade de massa (kg/m ³)	1847,06	1738,35	1360,21	693,95

Fonte: Autor, 2017

4.3.3 Absorção de água por capilaridade

O gráfico da Figura 7 a seguir apresenta os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Figura 7 – Gráfico de coeficiente de capilaridade dos traços REF, 25%, 50% e 100%

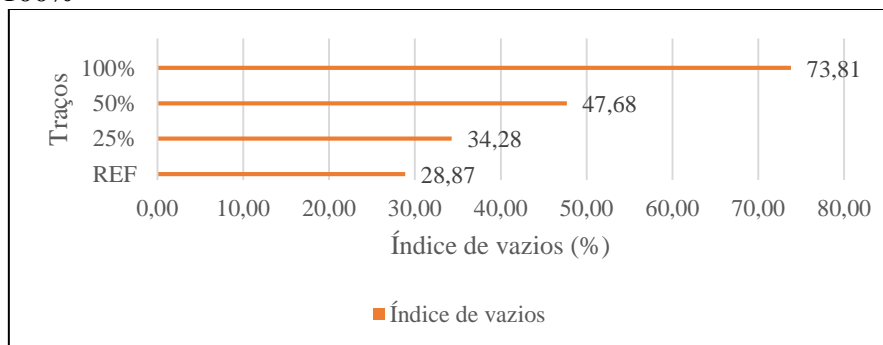


Fonte: Autor, 2017

4.3.4 Índice de vazios

A Figura 8 apresenta os resultados do ensaio de índice de vazios médio dos corpos de prova de argamassa para cada traço estudado.

Figura 8 – Gráfico de índice de vazios dos traços REF, 25%, 50% e 100%

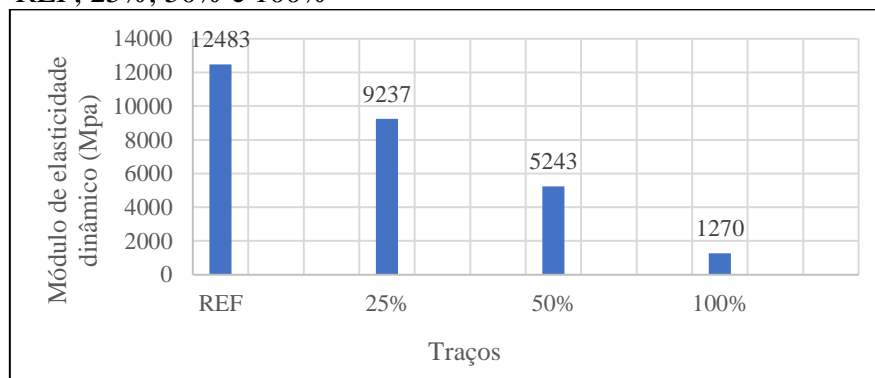


Fonte: Autor, 2017

4.3.5 Módulo de elasticidade dinâmico

Os resultados do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico estão representados no gráfico da Figura 9.

Figura 9 – Gráfico de módulo de elasticidade dinâmico dos traços REF, 25%, 50% e 100%

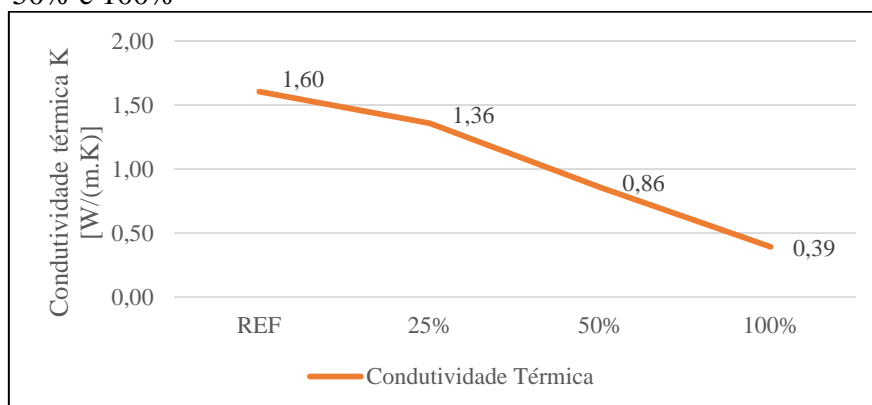


Fonte: Autor, 2017

4.3.6 Condutividade térmica

A Figura 10 apresenta os resultados do ensaio de condutividade térmica dos corpos de prova de argamassa para cada traço estudado.

Figura 10 – Gráfico de condutividade térmica dos traços REF, 25%, 50% e 100%



Fonte: Autor, 2017

5. DISCUSSÃO

No que se refere aos agregados é clara a definição de vermiculita expandida como agregado leve quando comparados seus valores de massa específica e massa unitária no estado solto com os da areia natural. A vermiculita tem massa específica de $0,1 \text{ g/cm}^3$, enquanto a areia apresenta o valor de $2,59 \text{ g/cm}^3$. Já na comparação de massa unitária, para a vermiculita ela é de $0,122 \text{ g/cm}^3$ e para a areia de $1,51 \text{ g/cm}^3$.

Quanto à granulometria, a amostra de vermiculita apresentou resultados inclusos nos limites da zona utilizável superior aceitável como material de construção, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005). A dimensão máxima característica da areia natural foi de 2,4 mm enquanto que a vermiculita apresentou valor de 4,8 mm deste parâmetro e o módulo de finura da vermiculita é superior ao da areia, com valores, respectivamente, de 3,18 e 2,32.

A partir da composição química da vermiculita percebeu-se que os compostos de maior concentração são o óxido de ferro (Fe_2O_3), dióxido de silício (SiO_2), óxido de magnésio (MgO) e óxido de alumínio (Al_2O_3). Justifica-se então a definição de vermiculita proposta por Sousa (2010) que trata a vermiculita como um mineral da família da mica composto por silicatos de ferro, magnésio e alumínio.

Analisando a mineralogia do material observou-se que sua composição mineralógica é de, essencialmente, hidrobiotita e vermiculita.

As micrografias da vermiculita, com aumentos de 188x à 10000x, confirmaram a sua estrutura laminar e altamente porosa.

No estudo das argamassas produzidas com incorporação de vermiculita expandida, observou-se que para obtenção de um índice de consistência dentro do limite estabelecido - $260 \pm 5 \text{ mm}$ -pela NBR 13276 (ABNT, 2005), quanto maior a quantidade do mineral incorporado, maior a quantidade de água necessária, ou seja, maior o valor da relação a/c, justificado pela alta porosidade do agregado leve utilizado.

Na determinação da densidade de massa no estado fresco da argamassa percebe-se que o aumento no teor de incorporação de vermiculita expandida, diminuiu consideravelmente sua densidade de massa. Esta redução foi de 4,4% para o traço de

25%, 14,21% para o traço de 50% e de 36,55% para o traço de 100% quando comparados ao traço de referência. Isso ocorre devido à reduzida massa específica da vermiculita expandida que favorece diretamente a redução da densidade de massa da argamassa, tornando-a mais leve. Logo, sendo mais leve, a argamassa torna-se mais trabalhável e adquire boas propriedades de isolamento térmico-acústico, como destaca Carasek (2010).

Ainda em relação ao estudo da argamassa no estado fresco, observa-se que quanto maior o teor de vermiculita expandida, maior a retenção de água da argamassa. O comportamento favorável de reter água, por ser uma propriedade que está associada à capacidade da argamassa fresca manter sua trabalhabilidade, é justificado também pela alta porosidade da vermiculita expandida, que ao absorver água, impede que esta seja perdida pelo substrato.

Foram também estudadas as propriedades da argamassa no estado endurecido. A começar pela resistência mecânica, houve um decréscimo nos valores de resistência ao passo que se aumentavam os teores de vermiculita incorporados à argamassa, como previsto, uma vez que argamassas com agregados leves e de alta porosidade, possuem baixa densidade de massa, tanto no estado fresco quanto no endurecido, e alto fator a/c , que influenciam diretamente nos resultados de resistência.

Analisando os resultados de resistência à compressão, a redução foi de 1,97% para o traço de 25%, 46,42% para o traço de 50% e de 68,82% para o traço de 100% quando comparados ao valor de referência, para argamassas com idade de 28 dias. Quanto a resistência à tração na flexão, o decréscimo foi de 3,16%, 23,16% e 55,79% para os traços de 25%, 50% e 100%, respectivamente, quando comparados ao valor de referência, para argamassas com idade de 28 dias.

Como anteriormente citado, era esperada uma diminuição na densidade de massa aparente da argamassa no estado endurecido com o aumento da incorporação do agregado leve. Tal redução foi de 5,89%, 26,36% e 62,43% para os traços, respectivamente, de 25%, 50% e 100% em relação ao traço de referência, para argamassas com 28 dias de idade.

De maneira geral, o acréscimo de incorporação de vermiculita na argamassa resulta em um aumento no coeficiente de capilaridade da mesma. Entretanto, para o traço com 25% de incorporação houve uma diminuição deste coeficiente da ordem de 11,31% que foge à curva e pode indicar que a incorporação do agregado em baixas proporções pode não influenciar de forma significativa a absorção por capilaridade da argamassa. Já para os traços de 50% e 100% houve um aumento de, respectivamente, 30,60% e 98,60% no coeficiente de capilaridade das argamassas. Altos valores de coeficiente de capilaridade indicam perdas em termos de durabilidade, impermeabilidade e nas propriedades mecânicas da argamassa.

O índice de vazios da argamassa também está diretamente relacionado à porosidade ao agregado à ela incorporado. Portanto, o aumento no teor de vermiculita expandida incorporada à argamassa resultou num aumento expressivo no índice de vazios da mesma. Este aumento foi de 18,74%, 65,15% e 155,66% para os traços de 25%, 50% e 100%, respectivamente.

A incorporação de vermiculita influenciou no módulo de elasticidade da argamassa. O aumento no teor de vermiculita incorporado proporcionou uma redução nos valores de módulo de elasticidade da argamassa. Esta redução foi de 26,00% para o traço de 25%, 58,00% para o traço de 50% e 89,83% para o traço de 100% quando comparados ao traço de referência da argamassa com idade de 28 dias. Segundo Bastos (2010), uma diminuição no módulo de elasticidade pode significar melhor desempenho

dos revestimentos em situações em que haja tensões causadas por variações de temperatura e umidade.

Por fim, a condutividade térmica é bastante afetada pela incorporação de vermiculita à argamassa. Ela sofreu maior redução à medida em que aumentou-se o teor de vermiculita expandida incorporado à argamassa. Tal redução foi de 15%, 46,25% e 75,63% para os traços de 25%, 50% e 100%, respectivamente, em relação ao traço de referência.

6. CONCLUSÃO

O objetivo geral da pesquisa foi mostrar a viabilidade da incorporação de vermiculita expandida na mistura de argamassas mistas, a fim de produzir um material leve e com baixa condutividade térmica.

Quanto às propriedades das argamassas no estado fresco, foi observado que: a presença da vermiculita expandida na mistura quando da produção das argamassas diminui o índice de consistência das mesmas, sendo necessário adicionar mais água à mistura para que as argamassas apresentem um índice de consistência dentro dos limites normativos (260 ± 5 mm); o aumento do percentual de vermiculita expandida incorporada às argamassas diminui em até 36,55% sua densidade de massa, tornando-as mais leves; os valores de retenção de água aumentaram à medida em que há um aumento no teor de vermiculita presente na composição da argamassa, o que pode representar uma constância na trabalhabilidade da mesma, uma vez que a argamassa perderá menos água para o substrato.

Observando as propriedades das argamassas no estado endurecido, tem-se que: as argamassas produzidas com vermiculita apresentaram desempenho comprometido nas propriedades de resistência à tração na flexão e resistência à compressão nos traços de 50% e 100%, já para o traço de 25% a redução foi pouco significativa em relação ao traço de referência; a densidade de massa aparente diminuiu em até 62,43%; o coeficiente de capilaridade aumentou significativamente para os traços de 50% e 100%, o que prejudica o desempenho da argamassa em termos de estanqueidade, e diminuiu para o traço de 25%; devido à alta porosidade da vermiculita expandida o índice de vazios das argamassas produzidas com o mineral teve um aumento expressivo, atingindo um valor de até 155,66%; já o módulo de elasticidade dinâmico diminuiu consideravelmente à medida que aumentou-se o teor de vermiculita incorporada à mistura, melhorando assim o desempenho de revestimentos; e a condutividade térmica das argamassas foi reduzida, contribuindo positivamente em termos de eficiência energética das mesmas.

A partir dos resultados obtidos é possível prever a viabilidade do uso de vermiculita expandida em argamassas de revestimento para o traço de 25%, que promoveu valores aproximados da resistência mecânica da amostra de referência e melhorou as propriedades de absorção de água por capilaridade, densidade de massa, módulo de elasticidade e condutividade térmica. É preciso avaliar também as condições de aderência das argamassas no substrato. Sugere-se para trabalhos futuros o estudo das propriedades da argamassa para diferentes traços, afim de se conhecer a porcentagem ideal de incorporação de vermiculita expandida na produção de argamassas leves e com baixa condutividade térmica que atendam aos requisitos de desempenho.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras: relatório final.** São Paulo: EPUSP/PCC, 1998. v. 1-5. (Pesquisa Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras).

ALVAREZ, J.; SEQUEIRA, C.; COSTA, M. **Ensinamentos a retirar do Passado Histórico das Argamassas.** 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa. 2005. p 1-2. Disponível em: <http://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2051.pdf>. Acesso em 07 abril. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13529: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13277: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 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.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7251: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – 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, 2008.

BASTOS, P., K., X.; LEMONGE, A., C., C.; SIGILIANO, V., S.; RESENDE, S., C. **Estudo do Módulo de Elasticidade de Argamassas de Revestimento Sujeitas à Sucção de Água pela Base.** Juiz de Fora, 2010. 9 p. Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora. Disponível em: http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%20105_2010.pdf. Acesso em 04 maio. 2017.

CARASEK, H. **Argamassas.** Capítulo 26. In: ISAIA, Geraldo (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2 ed. IBRACON, 2010. v.1 & v.2. p. 863-891.

CINTRA, C., L., D. **Argamassa de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus – Propriedades relevantes.** Cerâmica vol. 60 no. 353. 75 p. São Paulo, 2014.

GUIMARÃES, J., E., P.; GOMES, R., D.; SEABRA, M., A. **Guia das Argamassas nas Construções.** Construindo para sempre com cal hidratada. Associação Brasileira dos Produtores de Cal. 8. ed. 2004. 24 p. Disponível em: <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2013/06/guia-das-argamassas-nas-construc3a7c3b5es-abpc-2007.pdf>. Acesso em 08 abril. 2017.

LEITE, J., M. **A Influência da Vermiculita em Argamassa Geopolimérica com Adição de Nanotitânia.** Joinville, 2016. Trabalho de conclusão de curso (graduação). Universidade Federal de Santa Catarina.

NASCIMENTO, M., C., B. **Argamassa térmica produzida com resíduos de exploração e processamento mineral de caulim e vermiculita expandida.** Recife, 2008. 71 p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco.

SOUSA, A., J., C. **Aplicação de Argamassas Leves de Reboco e Assentamento em Alvenarias.** Porto, 2010. 7 p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.

TEIXEIRA, J., M., C. **Utilização dos produtos da combustão do carvão mineral como aditivos na produção de argamassa para revestimento.** Fortaleza, 2013. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Ceará.