2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ANÁLISE DO EFEITO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AREIA POR ARGILA EXPANDIDA E VERMICULITA NO DESEMPENHO TÉRMICO DE ARGAMASSAS[1]

BROCARDO JUNIOR, Marcos Antônio (1); SPIAZZI, Luana Vanessa (2)
PEREIRA FILHO, José Ilo (3)

(1) Discente UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco.
marcosbrocardojr@gmail.com

(2) Discente UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco.
luanaspiazzi@prof.unipar.br

(3) Docente UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco.
ilofilho@yahoo.com.br

RESUMO

Diante da preocupação com a qualidade de vida dos usuários nas edificações contemporâneas, sobretudo no que tange o conforto, objetivou-se nesse estudo realizar a avaliação térmica do desempenho de dois materiais porosos quando incorporados às argamassas: A argila expandida e a vermiculita, também em seu estado expandido. A adição desses materiais, levando em conta suas características físico-químicas, intenta para o melhor desempenho térmico dos ambientes, essencialmente na redução da temperatura interna destes. Com o auxílio de protótipo construído para esse tipo de ensaio, foi possível obter resultados satisfatórios com a aplicação de ambos os materiais quando comparados a amostras de argamassas sem aditivos, apresentando reduções térmicas médias de 5,89 °C no caso da argila expandida, e 8,29 °C obtidos no ensaio com a vermiculita, enquanto as amostras referência expuseram uma redução de temperatura de 4,72 °C. Faz-se importante observar que materiais estudados apresentam resultados satisfatórios na redução da transmitância térmica. É válido notabilizar o conforto do usuário em diferentes situações, para que a edificação possa apresentar um bom desempenho pós ocupacional, redução de custos e ainda impactar de maneira positiva junto ao meio.

Palavras-chave: *Conforto. Desempenho térmico. Argamassa. Argila expandida. Vermiculita.*

ABSTRACT

Given the concern with the quality of life of users in contemporary buildings, especially regarding their comfort, this study aimed to perform the thermal evaluation of the performance of two porous materials when incorporated into mortars: expanded clay and vermiculite, also in its expanded state. The addition of these materials, considering their physicochemical characteristics, intends for the best thermal performance of the environments, essentially in the reduction of their internal temperature. With the help of

[1] BROCARDO JR, Marcos Antônio, SPIAZZI, Luana Vanessa; PEREIRA FILHO, José Ilo, Análise do efeito da substituição parcial de areia por argila expandida e vermiculita no desempenho térmico de argamassas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

a prototype built for this type of test, it is possible to verify satisfactory results after the application of both materials when compared to mortar samples without additives, presenting average thermal reductions of 5.89 °C in the case of expanded clay, and 8.29 °C in tests with vermiculite, while control samples exposed a temperature reduction of 4.72 °C. It is important to note that the three different results meet the internal/external temperature difference parameters found in NBR 15575/2013, however, it is worth noting the user's comfort in different situations, so that the building can present a good post-occupational performance, cost reduction and a positive impact on the environment.

***Keywords**: Comfort. Thermal performance. Mortar. Expanded clay. Vermiculite.*

1 INTRODUÇÃO

O desempenho das edificações ganhou muita notoriedade nos últimos anos, através de reuniões e conferências que culminaram com a publicação da norma de desempenho de edificações habitacionais (ABNT NBR 15575:2013), esta introduz pela primeira vez em âmbito nacional os métodos de avaliação, requisitos e critérios que tais construções devem cumprir.

O sistema de vedação externa comporta-se termicamente em função das características térmicas inerentes aos materiais empregados. De acordo com Carasek (2010), revestimentos de argamassa são responsáveis por até 30% do isolamento térmico, em função de sua espessura e da sua composição. Assim, a adoção de materiais de construção eficientes contribui para a redução da demanda de energia e consequente em um impacto positivo na sustentabilidade ambiental.

A argila expandida é proveniente da queima da argila a temperaturas na faixa de 1200ºC, onde parte dos constituintes deste material se fundem e outra parte se decompõe, liberando gases, os quais são incorporados pela massa sinterizada. Este processo faz com que o material resultante seja até sete vezes mais volumoso que o inicial (MORAVIA, 2007).

A vermiculita é um mineral que possui baixa condutividade térmica, baixa densidade e inércia química durável, características que favorecem seu uso como agregado ou adição na construção civil (RASHAD, 2016). Sua adição ao concreto proporciona redução do peso próprio, resistência ao fogo e bom desempenho em isolamento termo acústico.

Estudos acerca da aplicação dos dois materiais supracitados para uma arquitetura que ofereça maior conforto térmico ainda estão em estágio inicial, sendo sua aplicação ainda pouco difundida junto a argamassas.

O propósito desse estudo é avaliar o efeito causado pela substituição de uma porcentagem de agregado por dois materiais, argila expandida e vermiculita, nas argamassas, quanto a resistência mecânica e desempenho térmico.

Faz-se necessário estudar o comportamento de argamassas com adições de vermiculita e argila expandida, com relação a parâmetros de trabalhabilidade, resistência e desempenho térmico, analisando critérios da norma NBR 15575 e procurando definir um melhor comportamento do material nas edificações comparado ao que a norma estabelece, sobretudo, em relação ao desempenho térmico.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

2.1.1 Aglomerantes: Cimento Portland e Cal hidratada

O cimento adotado durante esse estudo foi o cimento Portland Composto do tipo CP II- F-32 da marca Supremo. Essa especificação foi utilizada por ser de comum uso em argamassas de revestimento. De acordo com Menna Junior (2016), a composição química do produto desta marca apresenta predominantemente óxido de cálcio (62,51%), dióxido de silício (18,42%), óxido de alumínio (5,19%).

A cal hidratada (hidróxido de cálcio) foi utilizada na argamassa aumentando a capacidade de retenção de água e para uma melhor aderência entre argamassa e os componentes da alvenaria, no caso de revestimentos de fachadas.

2.1.2 Argila expandida

A primeira adição utilizada em substituição à areia natural foi a argila expandida. A argila expandida tem sua produção através do tratamento térmico da matéria, triturada e classificada levando em conta a granulometria do material para sua expansão, podendo ser ou moída e pelotizada (MORAVIA 2007). Para a realização dos ensaios foi realizada a moagem dos torrões de argila expandida, seguido do peneiramento da amostra, em peneira com abertura 2,36 mm, utilizando-se o material passante desse processo.

Para esse estudo, uma das características fundamentais do material é a porosidade. Ainda de acordo com resultados analisados por Moravia (2007), a porosidade média da argila expandida é de 19%, enquanto os elementos mais presentes em sua composição química são dióxido de silício, óxido de ferro, óxido de alumínio, óxido de magnésio e óxido de potássio.

Figura 1 – Argila expandida



Fonte: Os autores

2.1.3 Vermiculita

A segunda adição utilizada em substituição à areia natural foi a vermiculita, em

menor proporção que a argila expandida, o material apresenta também bom índice de porosidade. A vermiculita é um mineral composto majoritariamente por silicatos hidratados de magnésio e alumínio (CHANDRA, 2002).

O material é submetido a um processo de aquecimento (até aproximadamente 1100ºC), transformando a água contida na vermiculita em vapor, de modo a expandir a partícula, resultando em uma estrutura sanfonada e porosa, de baixa densidade, conforme a figura 2. De acordo com Ugarte e Monte (2005), a vermiculita expandida possui densidade entre 0,15 g/cm³ e 0,25 g/cm³, e superfície específica entre 6,0 m²/g e 8,0 m²/g.

Figura 2 – Vermiculita em estado expandido



Fonte: Os autores

2.1.4 Agregado

A areia utilizada foi de granulometria média, sendo incorporada a argamassa como agregado e substituída em pequenas porcentagens pela argila expandida e pela vermiculita para elaboração desse estudo.

2.2 Métodos

2.2.1 Definição dos teores de substituição, traços e abatimento

A análise limitou-se na realização de três tipos de argamassa de revestimento. A primeira, referência, amostra sem adição mineral em substituição à areia. Em seguida, as amostras contendo argila expandida em teores de 10% de substituição à areia. Por fim, o terceiro conjunto continha vermiculita em teores de 5% de substituição à areia.

A relação água/cimento (A/C) variou em função do abatimento desejado, para que as amostras tivessem viabilidade de aplicação como argamassas de revestimento e para analisar a demanda por água pelas adições minerais.

Para a definição de traços e teores de substituição, foi realizado o preparo da argamassa segundo NBR 7215, em argamassadeira EMIC, após isso foi determinado o índice de consistência normal, através do abatimento do corpo de prova em forma de tronco de cone. Para que o traço fosse considerado satisfatório, o abatimento deveria estar na faixa entre 220-260 mm.

2.2.2 Ensaios de resistência

Após o procedimento de cura durante 7 e 28 dias, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão, em prensa hidráulica EMIC. A carga de ruptura foi determinada conforme NBR 7215. Cabe ressaltar que as metades resultantes dos ensaios foram utilizados para os ensaios de resistência à tração e ensaios à compressão para idades posteriores. Para o teste de resistência à tração na flexão, com a amostra disposta sobre dois apoios, foi realizada a introdução da força de ensaio, com incrementos de carga conforme descrito pela NBR 12142.

2.2.3 Ensaios de desempenho térmico

Para a realização dos ensaios térmicos, foi utilizado uma câmara para aferir as mudanças de temperatura em função do tempo, em ambiente controlado, isolado com manta de fibra cerâmica, vedada ao meio externo, conforme viabilizado em Baldin (2019).

Para aferir a transferência de calor pelas placas de argamassa com 25 mm de espessura e 28 dias de idade, foram instalados dois termopares, um na superfície inferior e outro na superior da placa, ligados a dois multímetros, com precisão de ± 0.5°C, responsáveis pela leitura, realizada em intervalos de 1 minuto.

Figura 3 – Câmara "Prohélios" para ensaios térmicos



Fonte: Baldin (2019)

Dessa forma, para simular os ciclos de aquecimento da superfície da argamassa e analisar a potencial redução no calor que esta pode oferecer, foi adotada a temperatura de 50°C. Esta temperatura normalmente está presente em fachadas externas de edifícios expostas à luz direta do sol. Por outro lado, analisou-se o comportamento por um período de 5 horas, período pelo qual a temperatura diurna se mantém próxima da máxima. O gradiente térmico foi obtido pela diferença das temperaturas aferidas na superfície inferior e superior da placa. Já a condutividade térmica foi calculada através da seguinte equação:

$$k = \frac{h_e.L\ (T_{sup}-T_{se})}{(T_{inf}-T_{sup})} \quad (1)$$

Sendo:

k = coeficiente de condutividade térmica (W/m.K);

he = coeficiente de convecção, sendo: 8,1 W/m².K;

L= espessura da amostra (m);

T_{sup}= temperatura na superfície superior da placa (k);

T_{inf}= temperatura na superfície inferior da placa (k);

T_{se}= temperatura externa de um ponto afastado da superfície (k).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Determinação de traço, abatimento e massa específica

Para a determinação do traço, partiu-se do pressuposto de adotar uma relação que fosse usual no mercado, tomando a relação 1:2:9 (cimento:cal:agregado miúdo) para todos os ensaios, traço comumente utilizado em emboços.

Para a obtenção de amostras contendo 5% de vermiculita, houve uma larga demanda por água na mistura, que se evidencia pela maior relação A/C. Optou-se, então, por permanecer com este teor de substituição, visto que uma possível elevação para 10% ficaria fora da faixa aceitável de abatimento para argamassas de revestimento. A massa específica resultante para as amostras contendo as adições minerais foi inferior à referência, devido às baixas massas específicas que estas possuem.

Tabela 1 – Traço e abatimento

Amostra	**Cimento**	**Cal**	**Areia**	**Subst.**	**Relação A/C**	**Abatimento (mm)**	**Massa Específica (kg/m³)**
Referência	1	2	9	0%	2,25	230,0	1.850,31
Argila expandida	1	2	9	10%	2,55	252,5	1.755,15
Vermiculita	1	2	9	5%	2,75	227,5	1.813,94

Fonte: Os autores

3.2 Ensaios de resistência

A tabela 2 sintetiza os resultados de resistência à compressão (fck) e à tração (fct) das amostras controle e com as adições, para as idades de 7 e 28 dias.

Tabela 2 – Resistência mecânica aos 7 e 28 dias

Amostra	**Idade**	**fck (MPa)**	**fct (MPa)**
Referência	7	0,90	0,08
	28	1,36	0,42
Argila expandida	7	1,53	0,44
	28	2,05	0,47
Vermiculita	7	0,99	0,31
	28	0,79	0,36

Fonte: Os autores

Observa-se que a argila expandida possui o melhor desempenho entre as amostras, tanto nas primeiras idades como aos 28 dias. A adição no estado fino, após ter passado por peneiramento, contribuiu com a redução da porosidade da matriz. Esse melhor fechamento possibilitou uma estrutura mais resistente, em comparação com a amostra referência.

Por outro lado, as amostras contendo vermiculita tiveram desempenho abaixo das outras. Isso se deve ao fato da relação água/cimento muito superior, necessária para conferir o abatimento necessário para esse tipo de argamassa.

Ainda, ressalta-se que os dados dos ensaios não apresentaram evolução gradual da resistência. Atribui-se ao fato de serem amostras que possuem baixa resistência mecânica e ensaios com evolução de carga rápidos, o que contribui para que isso aconteça.

3.3 Ensaios de desempenho térmico

Os resultados dos ensaios de desempenho térmico, realizados em câmara com ambiente controlado, estão dispostos na tabela 3.

Cabe ressaltar que, para esses cálculos, tomou-se como base apenas os dados obtidos na quarta hora de ensaio, por considerar que as temperaturas obtidas estavam variando pouco, próximo de atingirem um patamar estável.

Tabela 3 – Difusividade térmica e gradiente térmico

Amostra	**Difusividade Térmica (W/(m.K))**	**Gradiente térmico (°C)**
Referência	0,763	4,72
Argila expandida	0,629	5,89
Vermiculita	0,437	8,29

Fonte: Os autores

Observa-se que as amostras contendo vermiculita produziram os melhores resultados, obtendo uma redução de 42,8% na difusividade e uma diferença de temperatura 75,6% maior em relação a amostra referência.

Por sua vez, a argila expandida também obteve desempenho superior na difusividade e gradiente térmicos, de 17,6% e 24,8%, respectivamente.

Assim, em concordância com Massa (2018), a adição de materiais porosos, como as adições aqui estudadas, possui maior resistência à transferência de calor, pela sua descontinuidade física e pelos vazios incorporados em sua constituição.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo buscou avaliar de maneira objetiva os resultados advindos da substituição parcial de areia por argila e vermiculita, ambas em estado expandido.

Valendo-se dos ensaios realizados, pode-se concluir que a incorporação destes minerais melhora o comportamento mecânico e aponta para um ganho expressivo do desempenho térmico. Os resultados positivos apontam para a redução de 5,89 °C no caso da argila expandida, e 8,29 °C no caso da

vermiculita. As amostras referência apresentaram redução média de 4,72 °C, sendo assim, a disparidade maior, entre a argamassa sem adições e a argamassa com a presença de vermiculita, é de 3,6 °C.

A NBR 15575/2013 estipula o valor de 4°C de diferença térmica reduzida de um ambiente externo para um ambiente interno, considerando todos os componentes físico-químicos presentes na vedação vertical. A proposta de substituição parcial de areia pelos materiais argila expandida e vermiculita, comprova que sua eficácia na variância térmica obtida pode auxiliar no enquadramento do ambiente junto às exigências da norma supracitada, e, sobretudo, chamar atenção para fato de que novos materiais podem ser incorporados a construção civil, principalmente quando estes possuem atributos capazes de incorporar melhorias aos elementos e sistemas construtivos, superando aspectos normativos e impactando, de forma direta, no conforto do usuário.

Como forma de validar os benefícios dessas adições, propõe-se a continuidade da pesquisa ao realizar ensaios que possam aferir o desempenho térmico das argamassas com adições considerando a variação de umidade, caracterizando uma simulação mais fiel a uma fachada externa de uma edificação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 12142**: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15575**: Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

BALDIN, C. R. B. **Estudo da influência da substituição parcial do cimento por resíduos de cerâmica vermelha na transferência de calor em placas de fibrocimento**. 2019. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010, v.2. P. 893.

MORAVIA, W. G. **Influência de parâmetros microestruturais na durabilidade do concreto leve produzido com argila expandida**. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

MENNA JUNIOR, D. **Avaliação físico química de cimentos tipo portland produzidos no brasil, através da técnica de fluorescência de raios-x e resistência mecânica**. 2016. 137 p. Dissertação (Mestrado em Processos Tecnológicos e Ambientais) - Universidade de Sorocaba, 2016.

PASSOS, P. M. dos; CARASEK, H; AMARAL, G. M. **Avaliação da capacidade isolante térmica de revestimentos de argapassos**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SILVA, N. G. da; CAMPITELI, V. C. **Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, São Paulo. Anais... Florianópolis, 2006.

UGARTE J.F.O; MONTE M.B.M. **Estudo da Vermiculita como Adsorvente de Óleo e Metal Pesado**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. 38p (Série Tecnologia Ambiental; 34).