

Estudo do desempenho termoacústico de argamassa autonivelante para contrapiso com incorporação de vermiculita

Daniela Alves Delgado¹

Maiara Foiato²

Jhulis Marina Carelli³

Resumo

A exigibilidade da Norma de Desempenho NBR 15575 de 2013 implicou na readequação dos sistemas da construção civil a fim de padronizar o desempenho das edificações. Diante disto e no que tange o conforto entre pavimentos, considera-se o contrapiso um dos constituintes do sistema de isolamento termoacústico entre pisos. Para potencializar a influência do elemento na atenuação de ruídos e trocas térmicas, uma das alternativas é a confecção do mesmo com argamassas leves. Nesse contexto, o presente estudo analisou a influência da incorporação de vermiculita expandida em argamassas autonivelantes para contrapiso a fim de avaliar o comportamento físico, mecânico e a potencialidade de melhora no isolamento térmico e acústico. Para isso utilizou-se duas frações granulométricas do material denominadas de superfina (2,80 mm) e fina (3,09 mm), ambas cedidas pela mineradora Brasil Minérios. Desenvolveram-se sete traços, sendo um de referência, três traços com adição da granulometria superfina de vermiculita e três traços com adição de uma composição granulométrica de 50% da superfina e 50% da fina, com teores de adição de 10%, 15% e 20% sobre o volume de argamassa. Visto que a vermiculita possui alto índice de retenção de água, ela passou pelo processo de pré absorção, a fim de que não absorvesse a água da mistura, ou seja, de hidratação do cimento. Constatou-se que, em relação às propriedades físico-mecânicas, os teores de adição elevaram o índice de vazios e reduziram a densidade das argamassas, implicando na redução da resistência à tração e compressão, principalmente para teores acima de 10% de vermiculita, nas duas frações, sendo este o teor utilizado para avaliação termoacústica. Quanto ao desempenho térmico, as argamassas reduziram aproximadamente 44% a temperatura, com destaque para a mistura com adição da vermiculita combinada entre superfina e fina, que minimizou em até 11,2°C a temperatura. Na atenuação acústica para ruído de impacto, a argamassa com a composição granulométrica de vermiculita também obteve melhor comportamento, reduzindo em 15dB o nível de pressão sonora externa, 17,3% a mais em comparação com a argamassa de referência. Quanto ao ruído aéreo, houve um aumento significativo na atenuação do som dos contrapisos com vermiculita, obtendo redução de 30dB para a argamassa com a composição e 26dB para a argamassa com a superfina, em comparação ao som externo. De forma geral, as argamassas com o agregado

¹ Acadêmica do Curso de Engenharia Civil na Universidade do Oeste de Santa Catarina, campus de Joaçaba; daaniela.ad@hotmail.com

² Mestra, Professora na Universidade do Oeste de Santa Catarina; maiara.foiato@unoesc.edu.br

³ Mestra, Professora na Universidade do Oeste de Santa Catarina; jhulis.carelli@unoesc.edu.br

leve demonstraram bom comportamento na atenuação térmica e acústica, indicando viabilidade de uso e compensação econômica, qualificando o potencial das mesmas no sistema de isolamento entre pisos nas edificações.

Palavras-chave: desempenho termoacústico; argamassa autonivelante; contrapiso; vermiculita.

1 INTRODUÇÃO

O sistema de contrapiso em edificações tem como finalidade a regularização da superfície para posterior aplicação do revestimento final. Na confecção do elemento, o método mais abrangente em utilização diz respeito à elaboração de uma argamassa seca, sendo a execução uma das etapas da obra que mais consome tempo, material e transporte. Consoante a isso, a fim de melhorar e agilizar o processo de aplicação, tem-se a utilização de uma mistura do tipo autonivelante (CARASEK, 2017).

Barros e Sabbatini (1991) citam que dentre as funções principais do contrapiso está a de fazer parte do sistema de isolamento térmico e acústico entre pavimentos.

Dentre os muitos agregados leves passíveis de incorporação em misturas cimentícias, tem-se a vermiculita em seu estado expandido. A alta porosidade resultante de sua expansão após aquecimento permite a utilização do mineral como isolante térmico e acústico incorporado à argamassas e concretos.

Diante do citado, este trabalho tem como objetivo a avaliação do desempenho de argamassas autonivelantes para contrapiso com a incorporação de vermiculita expandida, analisando as propriedades físicas e mecânicas e a influência nas características térmicas e acústicas das misturas, a fim de tornar a argamassa uma mistura leve e um elemento constituinte do sistema de isolamento termoacústico entre pisos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMA DE PISO

A NBR 15575-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020) descreve o sistema de piso como sendo a composição entre camadas parciais ou totais, desde a estrutural até o acabamento. A referida norma ainda cita que além do desempenho funcional de estrutura, vedação e tráfego, o sistema de piso deve apresentar planicidade e homogeneidade, a fim de garantir conforto tátil, visual e antropodinâmico.

Como cita Rubin (2015), devido à ausência de um projeto específico e qualificado, o sistema de piso é visto como uma atividade secundária na construção. Esta situação acarreta em uma falta de controle de qualidade, uso incoerente de materiais e problemas na execução, resultando em possíveis manifestações patológicas e em um aumento no custo final da obra.

2.1.1 Contrapiso convencional e contrapiso autonivelante

O contrapiso do tipo tradicional normalmente é a argamassa feita no próprio canteiro de obras. Rubin (2015) salienta que a normatização brasileira ainda é muito falha quando se trata das especificações para controle da cura, propriedades físico-mecânicas esperadas, equipamentos e métodos próprios de ensaio para contrapiso, uma vez que não se considera o elemento como possuente de função estrutural.

Como um novo método de aplicação em substituição ao convencional, tem-se as argamassas autonivelantes para contrapiso. A proposta das misturas é permitir uma moldagem ideal e isenta de defeitos oriundos da falha de aplicação ou de técnica inadequada (MENDES, 2019). A aplicação garante a horizontalidade, ausência de ondulações, alto rendimento (50 a 100 m²/h), cura rápida (2 a 3 horas) e minimiza a espessura do elemento para até 1cm.

No que se refere à composição, tais misturas cimentícias são formulações de cimento Portland (de 25% a 45% da massa), areia fina quartzosa (40% a 60%), aditivos e adições. Recomenda-se a utilização de cimentos mais finos, uma vez que aumentam a coesão e proporcionam alta fluidez sem segregação (NAKAKURA; BUCHER, 1997; MENDES, 2019).

2.2 ARGAMASSAS LEVES PARA CONTRAPISO

Elevado número de estudos tem como foco a utilização de argamassa do tipo leve para contrapiso. Esta técnica surge como uma alternativa de substituição aos métodos convencionais, como as mantas termoacústicas formadas de materiais resilientes, e traz ao mercado uma estratégia de aplicação onde a própria argamassa faz parte do sistema de isolamento térmico e acústico (ZUCHETTO *et al.*, 2015; FÜHR, 2016).

De acordo com Cardoso, Callejas e Durante (2016) tais argamassas fabricam-se por diminuição da densidade do material introduzindo agregados leves em sua composição, estes com massa específica inferior a 2,0 g/cm³.

2.2.1 Agregados leves – Vermiculita Expandida

O mineral vermiculita é um aluminossilicato hidratado e constitui-se pela superposição de finíssimas lamínulas, que quando submetidas a altas temperaturas sofrem expansão de até 15 vezes o seu volume original, formando o produto denominado como vermiculita expandida. Os espaços vazios originados desta expansão volumétrica são preenchidos por ar, que conferem ao mineral baixa densidade e características como leveza, isolamento térmico e absorção acústica (UGARTE *et al.*, 2008).

Quando utilizada na produção de argamassas e concretos, a vermiculita expandida é capaz de potencializar o desempenho térmico e acústico além de conferir leveza ao sistema e à edificação no geral. Quanto à acústica, o mineral tem demonstrado uma capacidade

de redução de ruídos de até 62% quando incorporado a misturas cimentícias. Além disso, considera-se que 2,5 cm de argamassa com vermiculita fazem o mesmo efeito isolante de um revestimento com 25 cm de concreto comum (REFRÁTIL, 2016; AGUIAR, 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo, adotou-se a seguinte metodologia para desenvolvimento do trabalho: coleta, separação e caracterização dos materiais; confecção do traço REF e das argamassas com vermiculita; avaliação no estado fresco e endurecido e confecção dos contrapisos com os melhores traços e análise do desempenho térmico e acústico.

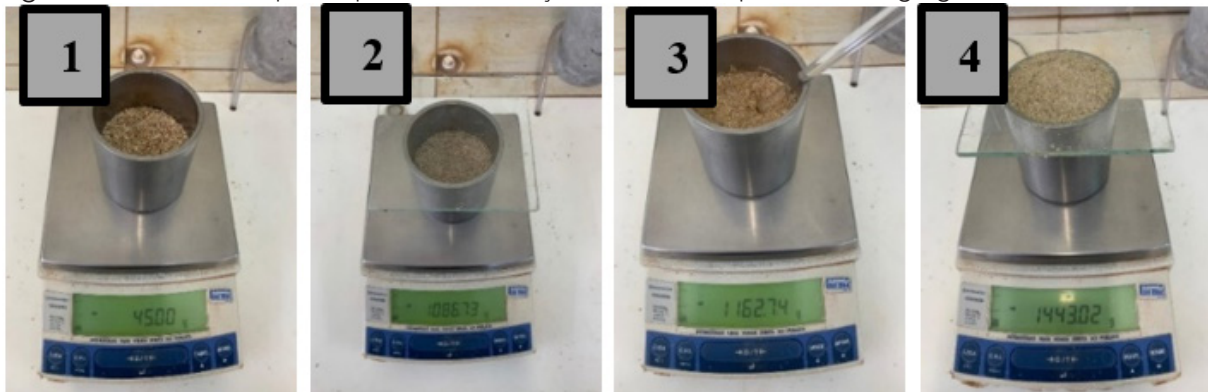
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

O aglomerante utilizado para esta pesquisa foi o CP V - ARI RS, da marca Votorantim, e de acordo com o fabricante a massa específica para o lote utilizado era de 3,12 g/cm³. Utilizaram-se dois tipos de agregado miúdo, a areia fina e a areia média. Como adição mineral, utilizou-se fíler calcário calcítico. Na determinação das características físicas dos agregados e do fíler, foram avaliadas: massa específica e absorção de água (NBR NM 52; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009); e determinação do teor de material pulverulento (NBR NM 46; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Além disso, para a areia média e fina avaliou-se a distribuição granulométrica de ambas conforme a NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Utilizou-se neste estudo dois tipos de aditivos, sendo do tipo superplastificante denominado Tec Flow 8000, e modificador de viscosidade denominado V-MAR 3, ambos produzidos e fornecidos pela *Grace Construction Products*.

A vermiculita usada nesta pesquisa foi fornecida pela companhia de mineração Brasil Minérios. Optou-se pela utilização de duas frações granulométricas, denominadas, pela fornecedora, de superfina e fina. Na determinação das características físicas foram avaliadas: distribuição granulométrica (NBR NM 248; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), massa unitária (NBR NM 45; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) e massa específica. A determinação foi através de um método adaptado (Figura 1), utilizando a técnica elaborada na pesquisa de Führt (2016).

Figura 1 - Método adaptado para determinação da massa específica do agregado leve



Descrição: (1) pesagem da vermiculita expandida seca; (2) pesagem do conjunto inicial sendo recipiente, placa de vidro e material; (3) colocação parcial de volume conhecido de água e retirada do ar aprisionado através de agitação lenta; (4) vedação do conjunto, colocando-se a placa de vidro evitando deixar vazios entre a água e o vidro, seguida da pesagem final.

Fonte: os autores (2021).

O cálculo utilizado para determinação da massa específica está explícito na Equação 1.

$$\gamma = 1000 * \frac{\text{Massa da vermiculita seca (1)}}{\text{Volume do frasco} - (\text{Conjunto final (4)} - \text{Conjunto inicial (2)})} \quad (1)$$

3.2 DOSAGEM DA ARGAMASSA DE REFERÊNCIA

Para o desenvolvimento do traço referencial, inicialmente seguiu-se o traço desenvolvido por Richardi (2018) para argamassa autonivelante. O autor utilizou a proporção unitária de 1:0,625:0,625:0,05:0,0035:0,0075:0,361 (cimento CP V-ARI, areia fina, areia média, filer calcário calcífico, aditivo superplastificante, aditivo modificador de viscosidade e água). Partindo do traço desenvolvido pelo referido autor e após execução de testes, houve a necessidade de se fazer uma alteração na quantidade do aditivo superplastificante, este sendo reduzido de 0,0035 para 0,0030.

3.3 ARGAMASSAS COM VERMICULITA EXPANDIDA

Para as argamassas com adição dividiu-se as granulometrias da vermiculita (superfina e fina) em duas frações, sendo fração 1: traços somente com a superfina, e fração 2: traços com uma composição de 50% da superfina e 50% da fina. As adições de vermiculita foram realizadas em 10%, 15% e 20% para cada fração, sobre o volume de argamassa, totalizando seis traços além do referencial. Os teores foram definidos objetivando um equilíbrio entre o comportamento no estado fresco e desempenho termoacústico, visto que, em teores elevados, Führ (2016) e Cintra (2013) afirmam que a vermiculita altera significativamente a trabalhabilidade das misturas. A Tabela 1 apresenta os traços executados e sua respectiva nomenclatura, conforme a fração e teor.

Tabela 1 - Identificação de cada traço

Traço	Nomenclatura
Traço de referência	REF
Traço com adição de 10% da fração 1: 100% SUPERFINA	SF10
Traço com adição de 15% da fração 1: 100% SUPERFINA	SF15
Traço com adição de 20% da fração 1: 100% SUPERFINA	SF20
Traço com adição de 10% da fração 2: 50% SUPERFINA + 50% FINA	SF+F10
Traço com adição de 15% da fração 2: 50% SUPERFINA + 50% FINA	SF+F15
Traço com adição de 20% da fração 2: 50% SUPERFINA + 50% FINA	SF+F20

Fonte: os autores (2021).

Na confecção do primeiro traço com adição de 10% de vermiculita, devido à alta absorção deste material, a argamassa resultou extremamente seca, tornando a mistura inutilizável e os testes no estado fresco inexecutáveis. Deste modo, a fim de não alterar o traço referencial e visto a altíssima capacidade de retenção de água da vermiculita, optou-se pela pré absorção da mesma, evitando assim, a perda de água de amassamento da argamassa.

3.3.1 Absorção prévia da vermiculita

A metodologia aplicada para absorção da vermiculita expandida seguiu a ordem de: pesagem da vermiculita seca conforme o traço e teor; pesagem de 10kg de água; lançamento da água de forma parcial; mistura para melhor homogeneização do mineral com na água; avaliação da absorção de água a cada 10min; após 45 minutos da vermiculita submersa realizou-se eliminação do excesso de água com peneiras conservando a condição saturado superfície seca; pesagem da vermiculita com a água para posterior correção da relação a/c. Na Fotografia 1 (a/b/c), tem-se o processo e o registro da aparência final do material.

Fotografia 1 - (a) Vermiculita seca; (b) Vermiculita + água; (c) Agregado em seu estado saturado superfície seca



(a)



(b)



(c)

Fonte: os autores (2021).

3.4 AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO

A caracterização das argamassas no estado fresco foi realizada através dos parâmetros definidos para concreto autoadensável, uma vez que não há normativa com relação à argamassa autonivelante. Ademais, foram realizados os ensaios de: espalhamento e tempo de espalhamento T_{500} (NBR 15823-2; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017); ensaio de funil V para viscosidade plástica aparente (NBR 15823-5; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017); análise visual para segregação e exsudação (NBR 15823-2; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Além disso, encontrou-se a massa específica e o teor de ar para cada argamassa seguindo as diretrizes expostas pela NBR 9833 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

Para avaliação no estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à tração seguindo a NBR 13279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005), e de resistência à compressão, conforme a mesma normativa. Os ensaios foram realizados 7 dias após a moldagem.

3.5 AVALIAÇÃO TÉRMICA E ACÚSTICA

Após a execução dos testes relatados anteriormente no item 3.4, as composições que obtiveram os melhores resultados nos ensaios do estado fresco e endurecido foram confeccionadas novamente, assim como a argamassa de referência, e submetidas aos ensaios termoacústicos. Estes foram realizados em 3 protótipos de alvenaria de 1,10 x 1,30 m x 1 m. Os contrapisos foram executados com espessura de 2 cm sobre as lajes de concreto existentes nos protótipos. Após 14 dias da execução dos elementos, foram feitas as medições térmicas e acústicas.

No ensaio térmico realizou-se a medição das temperaturas internas e externas conforme a NBR 15575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020). Para avaliação, utilizou-se um termo higrômetro digital. As medições foram realizadas durante 3 dias e em 5 horários diferentes, sendo às 08h00, 10h00, 12h00, 14h00 e 16h00. Para o ensaio acústico, verificou-se o comportamento dos contrapisos frente à ruído de impacto e aéreo. Na verificação quanto ao ruído de impacto, utilizou-se um equipamento gerador de ruídos padronizados acima do contrapiso executado, posicionado em um ponto central do elemento, a fim de garantir homogeneidade na distribuição do som. Para ruído aéreo, utilizou-se de sons em alta intensidade advindos de automóveis posicionados nas proximidades dos protótipos.

As localizações dos pontos para leituras sofreram alterações devido às dimensões dos protótipos. O método para as distâncias dos pontos segue o estudo de Zanchetta (2019).

3.6 ANÁLISE DE CUSTOS

A análise de custos para execução das argamassas foi feita de maneira sintetizada, considerando apenas os custos dos insumos e desconsiderando custos como transporte, mão de obra, energia, ferramentas, taxas e impostos. Os custos foram avaliados considerando o m³ de argamassa e, para fins avaliativos, foram comparados com a Tabela SINAPI/2020. Para determinação, com base nos traços das argamassas e na massa específica dos insumos constituintes, calculou-se o consumo de cimento e de todos os materiais utilizados, em kg/m³.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os resultados encontrados na caracterização de todos os materiais estão apresentados na Tabela 2.

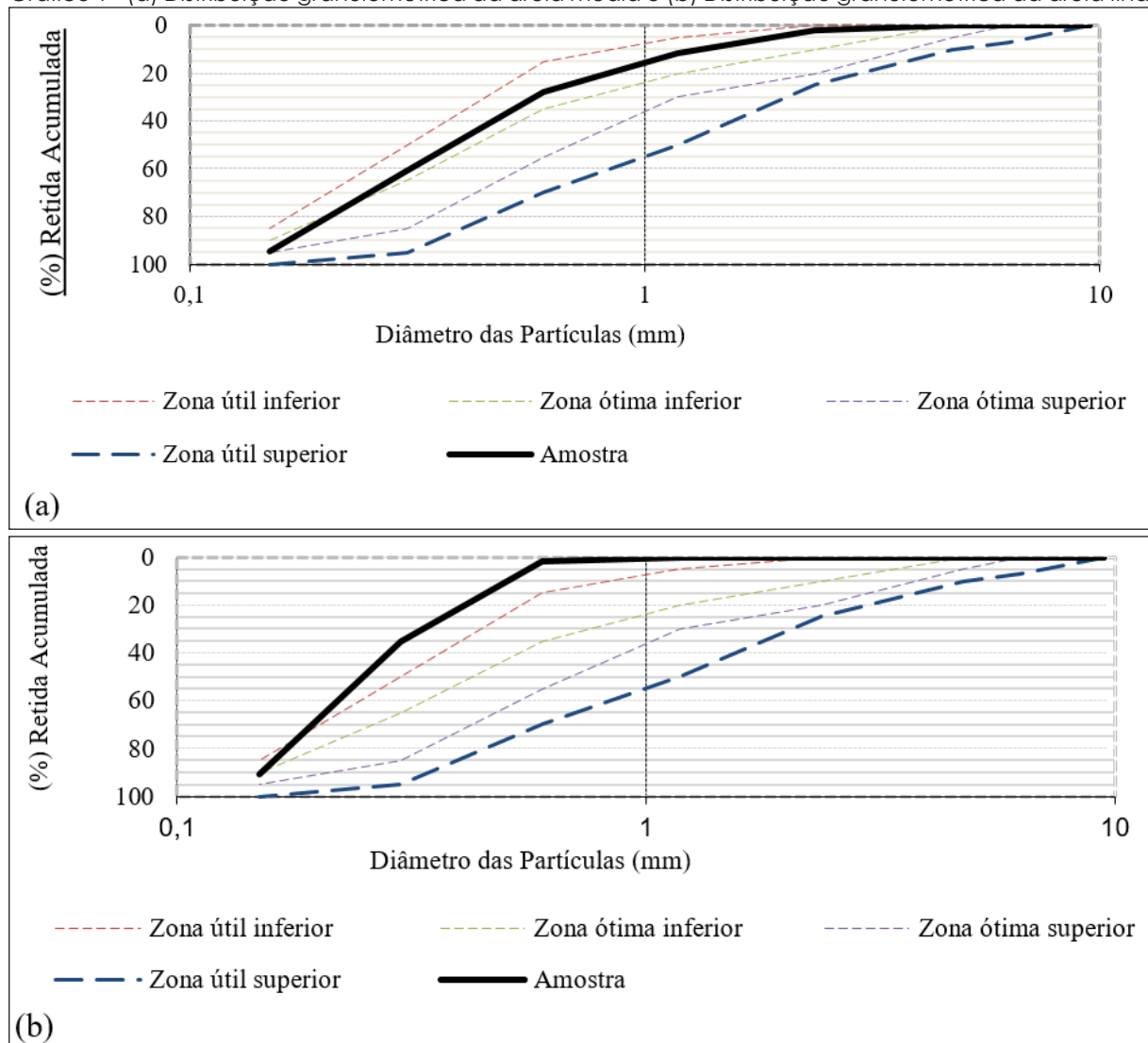
Tabela 2 - Caracterização dos materiais

Propriedade	Areia média	Areia fina	Fíler calcário	Vermiculita SUPERFINA	Vermiculita FINA
DMC (mm)	2,36	0,60	-	2,36	2,36
Módulo de finura	1,96	1,28	-	2,80	3,09
Massa específica (g/cm ³)	2,67	2,58	2,68	1,04	0,95
Massa unitária (g/cm ³)	-	-	-	0,15	0,19
Absorção (%)	0,54	0,23	-	-	-
Material Pulverulento (%)	2,84	2,24	88,92	-	-

Fonte: os autores (2021).

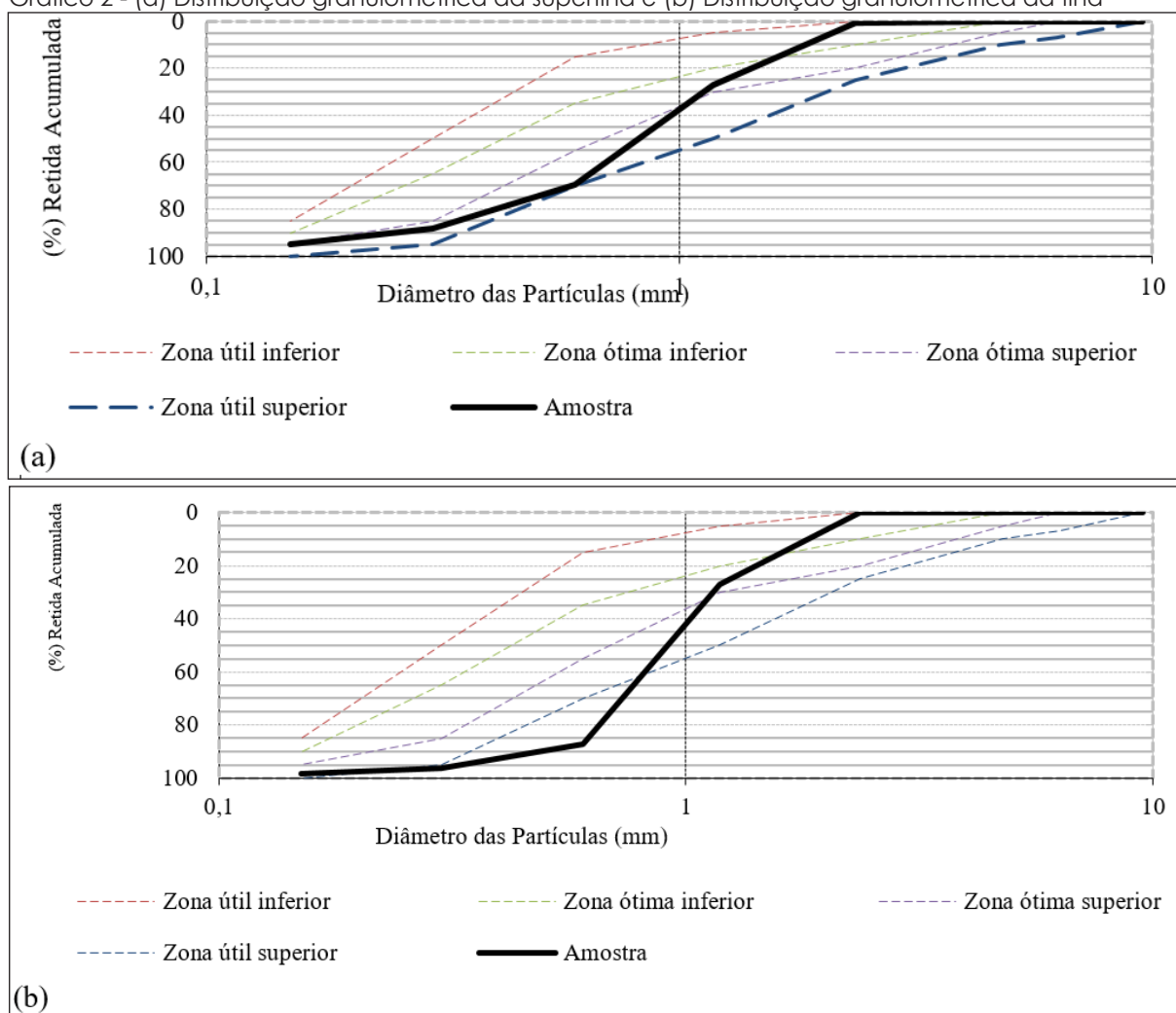
As curvas de distribuição granulométrica da areia média e da areia fina, assim como das duas granulometrias da vermiculita podem ser visualizadas no Gráfico 1 (a/b) e Gráfico 2 (a/b), respectivamente.

Gráfico 1 - (a) Distribuição granulométrica da areia média e (b) Distribuição granulométrica da areia fina



Fonte: os autores (2021).

Gráfico 2 - (a) Distribuição granulométrica da superfina e (b) Distribuição granulométrica da fina



Fonte: os autores (2021).

Todas as amostras foram enquadradas pela NBR 7211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019). A areia fina foi classificada pela normativa como agregado fino devido ao seu módulo de finura.

4.2 ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

4.2.1 Correção da relação água/cimento das argamassas com vermiculita

Na Tabela 3 descreve-se a relação água/cimento resultante em cada traço levando em conta a água previamente retida pelo agregado leve.

Tabela 3 - Correção da relação água/cimento para os traços com vermiculita

Traço	Massa de vermiculita seca no traço (g)		Massa de água absorvida por toda a vermiculita do traço (g)	Relação água/cimento corrigida
	Superfina	Fina		
REF	-	-	-	0,361
SF10	2212,61	-	8797,39	0,850
SF15	3318,92	-	9941,08	0,913
SF20*	4425,23	-	10000*	0,917
SF+F10	1106,31	1010,57	7573,13	0,728
SF+F15	1659,46	1515,85	8324,69	0,823
SF+F20*	2412,61	2021,14	10000*	0,917

*Nesses teores, a vermiculita absorveu toda quantidade de água estabelecida.

Fonte: os autores (2021).

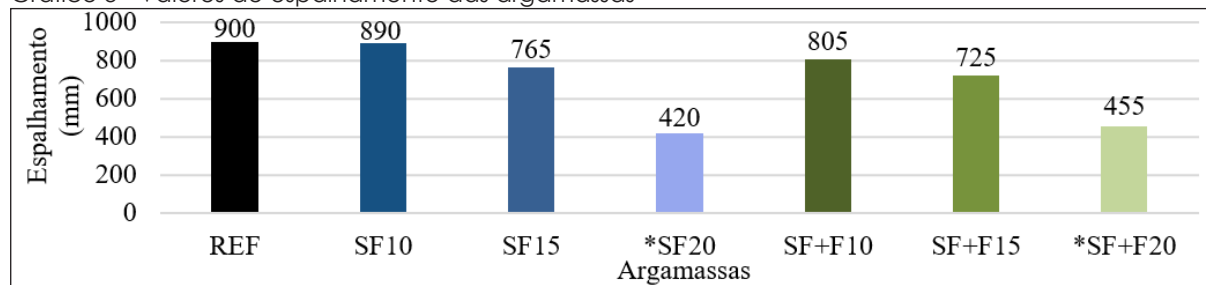
Pode-se notar que a vermiculita reteve grandes quantidades de água e, logicamente, a relação a/c aumentou conforme o acréscimo dos teores. Conforme Aguiar (2017), agregados como a vermiculita possuem uma porosidade elevada e quando incorporados em misturas cimentícias há necessidade de uma maior quantidade de água para uma mesma consistência, ou seja, maior o valor da relação a/c conforme o aumento no teor de vermiculita, justificado pela alta retenção de água do agregado leve utilizado.

Nas composições da superfina com a fina (SF+F), a retenção de água foi menor em comparação aos teores da fração superfina (SF). Isto pode ser explicado pelo fato de que nessas frações o teor de partículas mais finas diminuiu, e, visto que estas retêm mais água, a absorção na fração SF+F também sofreu redução.

4.2.2 Fluidez

No Gráfico 3 estão expostos os valores do espalhamento de cada traço realizado.

Gráfico 3 - Valores de espalhamento das argamassas



*Não caracterizado como argamassa autonivelante/autoadensável.

Fonte: os autores (2021).

Considerando os parâmetros da NBR 15823-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) para fluidez das misturas, definiu-se para o traço de referência a classe de espalhamento SF3 (760 a 850mm) uma vez que a argamassa referencial obteve valor

de 900mm, indicando alta fluidez e excelente comportamento considerando o local de aplicação e objetivo.

Ao analisar os valores de espalhamento, verifica-se que os diferentes teores influenciaram diretamente nos resultados. Percebe-se um melhor comportamento para o teor de 10% com ambas as frações (SF e SF+F), que obtiveram resultados próximos ao REF. Comparando as duas frações, é visível que a composição da SF+F influencia diretamente na fluidez, e, apesar de pequena, a diferença nos espalhamentos dos traços com a SF e nos traços com a SF+F pode ser explicada pela possível descontinuidade granulométrica proporcionadas pela composição das frações superfina e fina no traço SF+F, o que refletiu na viscosidade da mistura.

4.2.3 Estabilidade

A Tabela 4 mostra a classificação de cada traço no quesito estabilidade.

Tabela 4 - Verificação da estabilidade visual

Traço	Estabilidade visual
REF	Altamente estável (IEV 0)
SF10	Altamente estável (IEV 0)
SF15	Altamente Estável (IEV 0)
SF20*	-
SF+F10	Altamente Estável (IEV 0)
SF+F15	Estável (IEV 1)
SF+F20*	-

*Não caracterizado como argamassa autonivelante/autoadensável.

Fonte: os autores (2021).

A classificação do REF quanto a estabilidade visual foi definida como altamente estável (EIV0). Os traços SF10, SF+F10 e SF15 foram os que apresentaram melhores resultados, demonstrando as mesmas características do referencial. No traço SF+F15 verificou-se o aparecimento de uma leve exsudação, sem segregação, classificando a mistura como estável (EIV1). A explicação pode ser dada pelo fato de a fração SF+F ter considerável volume de partículas maiores, o fato possivelmente ocasiona uma maior distância dos elementos, fenômeno citado por Tutikian e Dal Molin (2015), e o que propicia a ocorrência de segregação.

4.2.4 Viscosidade aparente

A Tabela 5 apresenta os valores referentes à avaliação da viscosidade aparente através dos ensaios de tempo de espalhamento e funil V, os quais foram executados e avaliados com auxílio de filmagens.

Tabela 5 - Resultados T_{500} e funil V

Traço	T_{500} (s)	Funil V (s)
REF	1	3
SF10	1	3
SF15	1	3
SF20*	-	15
SF+F10	1	3
SF+F15	2	3
SF+F20*	-	19

- Não atingiu o valor de 500 mm de espalhamento.

* Não caracterizado como argamassa autonivelante/autoadensável.

Fonte: os autores (2021).

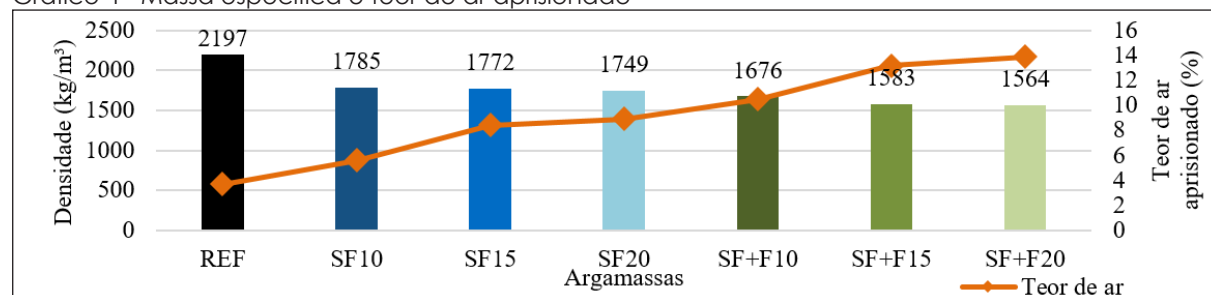
Através dos resultados, percebe-se que os tempos se mantiveram os mesmos para os traços SF10, SF15 e SF+F10 em relação ao REF para os dois parâmetros, indicando boa viscosidade das misturas em tais percentuais. O traço SF+F15 obteve acréscimo de apenas 1 segundo no T_{500} (s), porém manteve-se igual ao REF no funil V. O pequeno aumento do tempo de escoamento pode estar atrelado ao formato das partículas, indicando que em teores maiores a composição das granulometrias afeta diretamente a viscosidade da mistura.

De modo geral, as misturas com 10% e 15% de adição obtiveram bom comportamento. Isto indica influência positiva da absorção prévia de água pela vermiculita. Ressalta-se também a importância da qualidade e quantidade de finos, uma vez que se pressupõe que a granulometria fina interfira negativamente na mistura quando em teor elevado.

4.2.5 Massa específica e teor de ar aprisionado

Os resultados para massa específica e teor de ar das misturas estão apresentados no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Massa específica e teor de ar aprisionado



*Não caracterizado como argamassa autonivelante/autoadensável.

Fonte: os autores (2021).

Através dos resultados, percebe-se que o aumento no teor de incorporação de vermiculita diminuiu consideravelmente a massa específica das argamassas, apresentando um intervalo de redução entre 18,8% e 28,8%. Este fato ocorre possivelmente devido à reduzida

massa específica da vermiculita expandida, o que reflete diretamente na mistura onde o material é inserido. A redução gradativa da densidade para os traços com a composição SF+F em comparação aos com a fração SF, pode ser justificada devido ao fato de que a massa específica da fração fina é inferior à da fração superfina e a mistura das duas resultou em uma maior redução de densidade das argamassas.

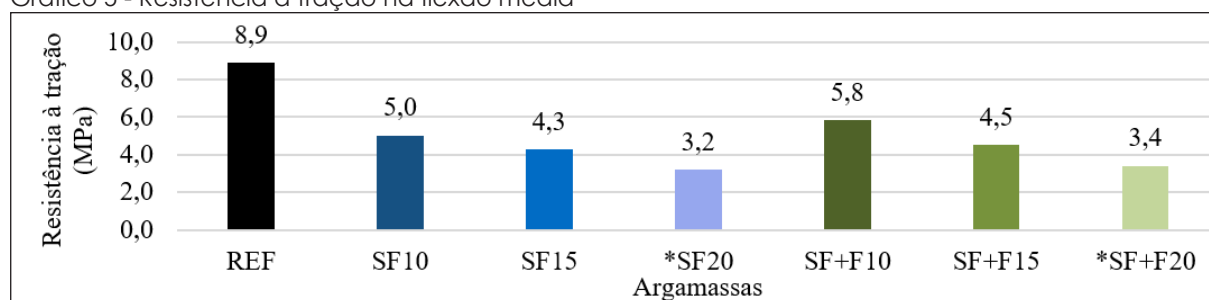
Além disso, o fato da vermiculita possuir alta porosidade gera um elevado teor de ar aprisionado na mistura, e acaba criando micro vazios que ocupam espaços que poderiam ser preenchidos pela argamassa e, conseqüentemente, tornam a mistura mais leve. Todos os traços obtiveram aumento expressivo para teor de ar, obtendo uma média de aumento no índice de vazios na faixa de 174% em relação ao REF.

4.3 ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

4.3.1 Resistência à tração na flexão

Os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão das argamassas, aos 7 dias de idade, estão representados no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Resistência à tração na flexão média



*Não caracterizado como argamassa autonivelante/autoadensável.

Fonte: os autores (2021).

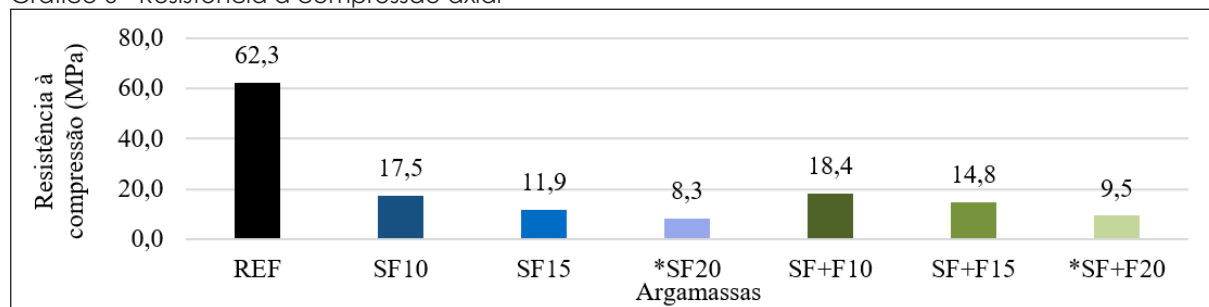
Verifica-se que houve um decréscimo nos valores de resistência à tração conforme o aumento dos teores de vermiculita incorporados à argamassa. Tal comportamento, como previsto, é motivado pela relação entre a resistência mecânica com o índice de vazios e a densidade das argamassas, uma vez que argamassas com agregados leves e de alta porosidade, possuem baixa densidade de massa e alto teor de vazios, o que influencia diretamente nos resultados de resistência. Comparando os resultados das frações entre si, percebe-se que houve um aumento de resistência para os três teores com a fração SF+F, diferenciando-se em cerca de 9,2% da fração SF.

Diante dos resultados e uma vez que não há normativa brasileira impondo mínimos de resistência para argamassas de contrapisos, considera-se o comportamento mecânico algo secundário e não tão significativo para a avaliação final.

4.3.2 Resistência à compressão axial

Os valores de resistência à compressão axial média das argamassas seguem apresentados no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Resistência à compressão axial



*Não caracterizado como argamassa autonivelante/autoadensável.

Fonte: os autores (2021).

Verifica-se que o acréscimo de adição da vermiculita implicou na redução da resistência à compressão das argamassas. Os traços SF20 e SF+F20 obtiveram redução de 86,7% e 84,8%, respectivamente, demonstrando o decréscimo de maior relevância. Novamente, o teor de 10% resultou nos melhores valores, apesar da discrepância em relação ao referencial, obtendo redução de 71,9% e 71,9%, para SF10 e SF+F10, respectivamente.

O mesmo comportamento foi verificado nos estudos de Aguiar (2017), onde nos resultados à compressão das argamassas com vermiculita obteve-se redução de até 68,8% em comparação ao referencial. Este fato está claramente ligado à porosidade interna da adição, além de que, a vermiculita acaba ocupando o espaço que seria preenchido pelo cimento, material responsável pelo ganho de resistência mecânica.

Correlacionando as frações, da mesma maneira em relação à resistência à tração, houve um acréscimo para os valores à compressão da fração SF+F, nos três teores. Isso demonstra, novamente que, além da influência da granulometria da adição, o fato de que o potencial de retenção de água ter sido inferior nos teores com a distribuição granulométrica (SF+F) acarretou em uma menor redução nas resistências à compressão dos traços executados com esta fração, visto que resultou em uma menor quantidade de água nas misturas.

4.4 DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO

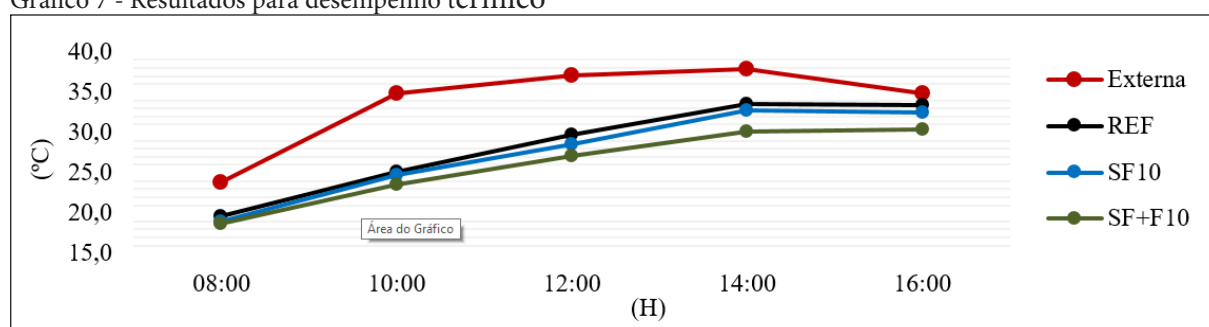
Para a avaliação do desempenho termoacústico e confecção dos contrapisos, optou-se pela execução das misturas com 10% de adição de vermiculita para as duas frações, SF e SF+F, uma vez que ambas obtiveram melhores comportamentos em relação ao traço REF. A argamassa referencial e as duas com vermiculita foram refeitas e lançadas sobre a laje dos protótipos. Uma vez que o processo foi feito com auxílio de baldes, não foi possível representar a força de lançamento real (bombeamento), porém, apesar da baixa força de aplicação, é perceptível a fluidez do material no lançamento. Em seguida, os contrapisos foram curados

por 3 dias através da aspersão de água e proteção com lona. Após os 14 dias, executaram-se os ensaios térmicos e acústicos.

4.4.1 Análise térmica

As reduções de temperatura encontradas em cada protótipo estão expostas no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Resultados para desempenho térmico



Fonte: os autores (2021).

Os valores relatados no Gráfico 7 dizem respeito ao segundo dia de medições, o qual obteve valores médios para avaliação dos resultados. Através dos resultados obtidos, pode-se observar a influência positiva da vermiculita no isolamento térmico em todos os períodos de incidência avaliados, corroborando com as exigências da NBR 15575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020). A argamassa SF+F10 apresentou os melhores desempenhos neste critério, com atenuação de até 11,2°C em relação à temperatura externa às 10h00, seguida pela argamassa SF10 com maior relevância de redução em 10°C, para o mesmo horário.

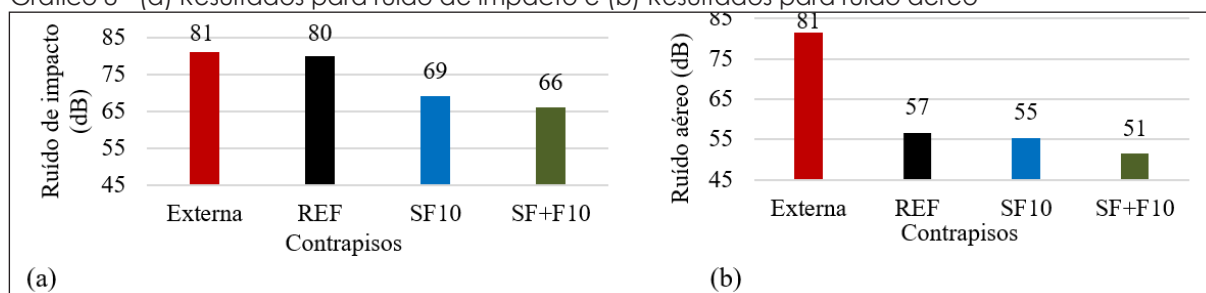
Para os horários de maior temperatura, às 12h00 e 14h00, as argamassas igualmente obtiveram bom comportamento, reduzindo em 8,6°C e 10°C as temperaturas externas, para SF10 e SF+F, respectivamente.

O bom comportamento pode ser possivelmente explicado devido à alta porosidade e baixa densidade dos contrapisos com vermiculita, onde, devido aos vazios presentes no agregado leve, a mistura desenvolve baixa condução de calor. Ainda, a justificativa para os melhores valores serem encontrados na argamassa SF+F10 deve-se ao fato de que a granulometria fina da composição possui maior teor de ar incorporado, o que contribui para uma menor transferência de calor térmica em comparação à argamassa SF10.

4.4.2 Análise acústica

As reduções acústicas para ruído de impacto e ruído aéreo estão expostas no Gráfico 8 (a/b).

Gráfico 8 - (a) Resultados para ruído de impacto e (b) Resultados para ruído aéreo



Fonte: os autores (2021).

Através dos resultados para ruído de impacto percebe-se que a vermiculita influenciou positivamente na dissipação do som nas duas frações. Pode-se notar que a argamassa SF+F10 foi a que obteve melhores valores, reduzindo em 15 dB quando em comparação ao ruído externo, seguido da fração SF10 que minimizou o som em 12 dB. Ambos os resultados atendem ao exigido pela NBR 15575-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020), sendo que os dois obtiveram desempenho intermediário. A argamassa de referência foi a que obteve piores resultados.

A redução obtida com a vermiculita pode ser explicada novamente pela sua alta porosidade, o que proporcionou alto teor de vazios e, conseqüentemente, leveza à argamassa. Isso resultou em boas propriedades de isolamento acústico, funcionando como um sistema de amortecimento ao ruído de impacto e baixa propagação no aéreo.

Para o ruído aéreo, percebe-se que também houve um aumento significativo na atenuação do som dos contrapisos com vermiculita, obtendo redução de 30 dB para SF+F10 e 26 dB para SF10, em comparação ao som externo. Porém, visto que a NBR 15575-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020) salienta que a diferença entre os níveis medidos de emissor e receptor deve ser 45dB, observa-se que nenhum contrapiso obteve tal resultado.

4.5 QUANTITATIVO DE MATERIAIS E ANÁLISE DE CUSTOS

Os resultados para consumo de materiais e o custo do m³ de argamassa encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Consumo dos materiais (kg/m³) e custo por m³ de argamassa

Argamassa	Massa específica (kg/m ³)	Cimento (kg)	Areia média (kg)	Areia fina (kg)	Filer calcítico (kg)	Vermiculita SF (kg)	Vermiculita Fina (kg)	Custo (R\$/m ³)
REF	2196,86	822,33	513,96	513,96	41,12	-	-	821,26
SF10	1784,60	543,57	339,73	339,73	27,18	66,80	-	837,30
SF+F10	1675,95	522,14	326,34	326,34	26,11	32,08	29,30	799,29

Fonte: os autores (2021).

Os custos pelo SINAPI/2020 para argamassa autonivelante de contrapiso (insumo) sem considerar a mão de obra e materiais secundários e apenas para nortear os gastos, foram de R\$ 330,99/m³.

Com relação aos gastos por m³ de argamassa autonivelante nos contrapisos executados, percebe-se que houve um pequeno acréscimo de 1,9% no custo entre a argamassa REF e a SF10. A argamassa SF+F10 obteve redução de gasto de 2,7% em comparação à REF, demonstrando, apesar de pequeno, melhor custo benefício. Os resultados podem ser explicados pelo fato de que a argamassa SF+F10 possui em sua composição a granulometria fina da vermiculita, e visto que esta possui massa específica menor e grãos maiores, entende-se que o agregado ocasionou maior aumento no volume da mistura, reduzindo além do cimento, o consumo de todos os insumos da argamassa, ocasionando um rendimento superior ao gasto com o material.

De forma geral, correlacionando os gastos e o desempenho termoacústico obtido com a aplicação da vermiculita na argamassa, os seus custos tornam-se acessíveis, visto que houve considerável melhora nas propriedades das misturas com agregado leve, o que qualifica a questão custo benefício.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo foi desenvolvido com o principal objetivo de realizar a avaliação das propriedades e melhoramento no desempenho termoacústico de argamassas autonivelantes para contrapiso com adição de vermiculita expandida.

Quanto ao comportamento no estado fresco, os diferentes teores de adição do agregado leve resultaram em argamassas com maiores índices de vazios e menores densidades de massa aparente. Na trabalhabilidade, é evidente que a capacidade de absorção do agregado exigiu maiores quantidades de água conforme o aumento de adição, a fim de garantir uma consistência aplicável.

Em relação às propriedades térmicas, o fato da incorporação do agregado leve reduzir a densidade da mistura implica em uma melhora na absorção térmica nas duas argamassas aplicadas com vermiculita. A argamassa SF+F10 foi a que melhor se comportou, reduzindo em 32,2% a temperatura externa. Da mesma forma, as reduções acústicas de ruído de impacto e aéreo obtidas com a utilização das argamassas com vermiculita, demonstraram efeito positivo do agregado leve frente à atenuação na transferência do som. A argamassa SF+F10 apresentou, novamente, melhor comportamento, atenuando em 18,5% o ruído de impacto e em 37% o aéreo.

Diante do exposto, afirma-se que a adição de 10% da vermiculita expandida em argamassas do tipo autonivelantes torna-se uma alternativa plausível a fim de reduzir as trocas térmicas e sonoras entre ambientes, com destaque para a argamassa SF+F10 que apresentou as maiores reduções. Correlacionando o custo benefício do agregado leve, percebe-se

que há uma compensação no seu uso, visto que, apesar de sua incorporação resultar em considerável aumento de custos, seu benefício termoacústico é compensatório.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. L. D. de. **Estudo das propriedades tecnológicas da argamassa de revestimento com incorporação da vermiculita expandida**. 2017. 20 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833 – Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 2009.
- 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, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1 - Edificações Habitacionais-Desempenho**. Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3 - Edificações Habitacionais-Desempenho**. Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1 - Concreto Autoadensável – Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco**. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2 - Concreto Autoadensável – Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual – Método de Abrams**. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-5 - Concreto Autoadensável – Parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V**. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46 – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45 – Agregados– Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H.; **Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais**. USP: Departamento de construção civil, 1991.
- BRASIL MINÉRIOS Ltda. **Manual Técnico da Vermiculita Expandida**. 2020.
- CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo, C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2017.

CARDOSO, A. A.; CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C. **Argamassas produzidas a partir de materiais não convencionais: uma revisão sistemática.** In: ENCONTRO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL, 4., 2019, Cuiabá. **Anais** [...] Cuiabá: UFMT, 2016.

CINTRA, C. L. D. **Argamassa para revestimento com propriedades termoacústicas, produzida a partir de vermiculita expandida e borracha melorecyclada de pneus.** 2013. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

FÜHR, G. **Argamassas de contrapiso com propriedades de isolamento acústico: atenuação de ruídos de impacto em edificações.** 2016. Trabalho de Diplomação (graduação em Engenharia Civil) – UFRGS. Porto Alegre, 2016.

MENDES, G. A. **Dosagem de argamassa autonivelante com adição de Resíduos do Corte de Mármore e Graníticos (RCMG):** Análise das propriedades físicas e mecânicas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2019.

NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. Pisos Auto-nivelantes. Propriedades e Instalações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II., 1997, Salvador. **Anais** [...]. Salvador, 1997.

REFRÁTIL. Grupo Refrátíl Refratários. **Vermiculita Expandida.** 2016. Disponível em: <http://www.refratil.com.br/produto/vermiculita-expandida>. Acesso em: 12 ago. 2020.

RICHARDI, D. **Estudo de argamassa autonivelante para utilização em contrapiso com substituição do cimento por diferentes teores e tipos de filler.** 2018. Relatório de Estágio Supervisionado II – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2018.

RUBIN, A. P. **Argamassas autonivelantes industrializadas para contrapiso: análise do desempenho físico-mecânico frente às argamassas dosadas em obra.** 2015. Dissertação. (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto Autoadensável.** 2. ed. São Paulo: Pini, 2015.

UGARTE, J. F. O. *et al.* **Rochas & minerais industriais – usos e especificações.** 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

ZANCHETTA, E. **Estudo de traço para argamassa termoacústica utilizada em contrapiso.** 2019. Artigo de Estágio Supervisionado II – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2019.

ZUCHETTO, L. K.; SOUZA, R. P.; NUNES, M. F. O.; TUTIKIAN, B. F. **Estudo de contrapisos leves a base de EVA (Etileno Acetato de Vinila) para desempenho acústico e reduzidas cargas permanentes.** In: XIII CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PATOLOGIA DA CONSTRUÇÃO – CONPAT. 2015, Lisboa. **Anais** [...]. Lisboa, 2015.