

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA REGIÃO DOS VINHEDOS
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

GERMANO BASSO DA CRUZ

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE ARGAMASSAS DE
CONTRAPISO COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR
AGREGADO MIÚDO DE RESÍDUOS CERÂMICOS**

BENTO GONÇALVES

2023

GERMANO BASSO DA CRUZ

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE ARGAMASSAS DE
CONTRAPISO COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR
AGREGADO MIÚDO DE RESÍDUOS CERÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade de Caxias do
Sul como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharelado em Engenharia
Civil.

Orientador: Prof. Me. Maurício Schafer

BENTO GONÇALVES

2023

GERMANO BASSO DA CRUZ

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE ARGAMASSAS DE
CONTRAPISO COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR
AGREGADO MIÚDO DE RESÍDUOS CERÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade de Caxias do
Sul como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharelado em Engenharia
Civil.

Orientador: Prof. Me. Maurício Schafer

Aprovado em 06 de dezembro de 2023.

Banca Examinadora

Prof. Me. Maurício Schafer
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Esp. Mauricio Monteiro Almeron
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Me. Vinicio Cecconello
Universidade de Caxias do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Natan e Flávia, todo o amor, apoio emocional e financeiro durante minha graduação.

Agradeço ao meu orientador, Maurício, pelo seu auxílio e suporte constante tanto na parte teórica quanto no laboratório.

Agradeço ao meu avaliador, Vinício, por ter acompanhado minha jornada de conclusão de graduação e sua análise do meu projeto.

Agradeço aos técnicos do laboratório da Universidade de Caxias do Sul, César e Luiz, pela dedicação nos ensaios executados, ajudando-me mesmo quando não era necessário.

Agradeço à minha namorada, Isabela, que mostrou mais dedicação, amor e bondade do que eu jamais havia visto em minha vida.

Agradeço à Ramon, Daniel e Gabriel por terem fornecido o material em que minha pesquisa se fundou.

Agradeço aos amigos Alan, Beatriz, Luiz e Leonardo que me auxiliaram a peneirar o necessário para alcançar meus objetivos.

Agradeço à minha vó, Maria Lorena, que mesmo em estado debilitado, foi minha fonte de força e incentivo para finalizar a pesquisa.

Agradeço à minha irmã, Eduarda, por ter dado o máximo possível para me ajudar a chegar aonde eu cheguei.

Agradeço ao meu chefe, Pedro, pela liderança, humildade e ética que serviram como bússola para minha jornada.

Por fim, agradeço a todos os amigos, professores, colegas e todas as pessoas que estiveram presentes e colaboraram em todas as etapas da minha formação acadêmica.

RESUMO

CRUZ, Germano Basso. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE ARGAMASSAS DE CONTRAPISO COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR AGREGADO MIÚDO DE RESÍDUOS CERÂMICOS**. 86p. Trabalho de Conclusão de Curso II (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Caxias do Sul, área de conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias, Bento Gonçalves, 2023.

O reaproveitamento de resíduo cerâmico como agregado miúdo em argamassas tem se mostrado uma prática promissora no campo da construção civil, especialmente no que diz respeito ao aprimoramento do desempenho acústico de contrapisos. O uso de resíduos cerâmicos provenientes de demolições, descartes industriais ou da própria produção de cerâmicas apresenta benefícios significativos, tanto ambientais quanto técnicos, proporcionando uma alternativa sustentável e eficiente na utilização de materiais. A incorporação desses resíduos nas argamassas pode resultar em melhorias nas propriedades de isolamento acústico, contribuindo para a redução da poluição sonora e proporcionando ambientes mais tranquilos e confortáveis. Além disso, essa prática contribui para a redução do volume de resíduos descartados em aterros, promovendo a economia de recursos naturais e minimizando os impactos ambientais. O objetivo deste estudo é realizar uma análise comparativa do desempenho acústico de contrapisos com diferentes proporções de substituição do agregado miúdo natural por resíduo cerâmico em volume. Para os ensaios de desempenho acústico, foram considerados quatro níveis de substituição nas argamassas de contrapiso: 0, 25, 50 e 100%. A avaliação seguiu os procedimentos estabelecidos na norma NBR 16283 (ABNT, 2018) e foi conduzida no Laboratório de Tecnologia Construtiva da Universidade de Caxias do Sul. Foram utilizados três tipos de contrapisos, com espessuras distintas (25; 35 e 45 mm). Com o uso de teores de substituição diferentes na confecção das argamassas, foi possível ver trabalhabilidades iguais com maiores relações de água/cimento. No estado endurecido teve-se boas resistências mecânicas tanto na tração quanto na flexão, com a utilização do resíduo cerâmico. Por fim, nos ensaios de desempenho acústico por ruído de impacto mostraram um bom resultado quando há substituição total do agregado miúdo natural pelo resíduo cerâmico. Assim é possível incorporar o material cerâmico na argamassa de contrapiso substituindo o agregado natural, reutilizando um material que hoje é um resíduo.

Palavras-chave: argamassas; contrapiso; espessura; agregado reciclado cerâmico; desempenho acústico.

ABSTRACT

CRUZ, Germano Basso. **EVALUATION OF THE ACCURACY PERFORMANCE OF FLOORING ARGASSASTS WITH THE SUBSTITUTION OF NATURAL MOLD AGGREGATE BY CERAMIC WASTE MOLD AGGREGATE.** 86p. Course Conclusion Paper II (Graduation in Civil Engineering) - University of Caxias do Sul, area of knowledge of Exact Sciences and Engineering, Bento Gonçalves, 2023.

The reuse of ceramic waste as fine aggregate in mortars has proved to be a promising practice in the field of civil construction, especially with regard to improving the acoustic performance of subfloors. The use of ceramic waste from demolition, industrial waste or the production of ceramics itself has significant environmental and technical benefits, providing a sustainable and efficient alternative in the use of materials. Incorporating this waste into mortars can result in improvements in soundproofing properties, helping to reduce noise pollution and providing quieter, more comfortable environments. In addition, this practice contributes to reducing the volume of waste disposed of in landfills, saving natural resources and minimizing environmental impacts. The aim of this study was to carry out a comparative analysis of the acoustic performance of screeds with different proportions of natural aggregate replaced by ceramic waste. For the acoustic performance tests, four levels of substitution were considered in the screed mortars: 0, 25, 50 and 100%. The evaluation followed the procedures established in standard NBR 16283 (ABNT, 2018) and was conducted at the Construction Technology Laboratory of the University of Caxias do Sul. Three types of screed were used, with different thicknesses (25, 35 and 45 mm). By using different substitution levels in the mortars, it was possible to see equal workability with higher water/cement ratios. In the hardened state, there were higher mechanical strengths in both traction and flexion. Finally, the acoustic performance tests using impact noise showed good results when the aggregates were completely replaced. It is therefore possible to incorporate the ceramic material into the screed mortar, replacing the natural aggregate and reusing a material that is residue.

Keywords: mortar; subfloor; thickness; recycled ceramic aggregate; acoustic performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de pisos com indicação de camadas.....	16
Figura 2 – Gráfico comparativo de resistência à tração	21
Figura 3 – Gráfico comparativo de resistência à compressão.....	22
Figura 4 – Comparação das resistências mecânicas entre argamassas	23
Figura 5 – Comparativos de resistências e módulos de deformação	24
Figura 6 – Resultados entre matrizes.....	27
Figura 7 – Fluxograma de pesquisa	30
Figura 8 – Equipamento utilizado para moagem	34
Figura 9 – Protótipos de contrapiso.....	39
Figura 10 – Ensaio de índice de consistência	41
Figura 11 – Laboratório de Tecnologia Construtiva da Universidade de Caxias do Sul	45
Figura 12 – Calibrador utilizado nos ensaios.....	46
Figura 13 – Analisador portátil utilizado nos ensaios	47
Figura 14 – Fonte de impacto utilizada nos ensaios	47
Figura 15 – Posição inicial da fonte de impacto para realização do ensaio	49
Figura 16 – L'nT,w do sistema AREF na espessura 25 mm	60
Figura 17 – L'nT,w do sistema AREF na espessura 35 mm	61
Figura 18 – L'nT,w do sistema AREF na espessura 45 mm	62
Figura 19 – L'nT,w do sistema A25 na espessura 25 mm.....	63
Figura 20 – L'nT,w do sistema A25 na espessura 35 mm.....	64
Figura 21 – L'nT,w do sistema A25 na espessura 45 mm.....	64
Figura 22 – L'nT,w do sistema A50 na espessura 25 mm.....	65
Figura 23 – L'nT,w do sistema A50 na espessura 35 mm.....	66
Figura 24 – L'nT,w do sistema A50 na espessura 45 mm.....	67
Figura 25 – L'nT,w do sistema A100 na espessura 25 mm.....	68
Figura 26 – L'nT,w do sistema A100 na espessura 35 mm.....	69
Figura 27 – L'nT,w do sistema A100 na espessura 45 mm.....	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural	33
Gráfico 2 – Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado.....	35
Gráfico 3 – Relação água cimento das argamassas	51
Gráfico 4 – Índice de consistência das argamassas no estado fresco	51
Gráfico 5 – Resistência à tração na flexão	53
Gráfico 6 – Resistência a compressão na flexão	54
Gráfico 7 – Absorção por capilaridade	55
Gráfico 8 – Absorção por imersão	56
Gráfico 9 – Índice de vazios	57
Gráfico 10 – Massa específica	58
Gráfico 11 – Densidade das argamassas no estado endurecido	59
Gráfico 12 – Comparativo entre diferentes sistemas na espessura 25 mm	71
Gráfico 13 – Comparativo entre diferentes sistemas na espessura 35 mm	72
Gráfico 14 – Comparativo entre diferentes sistemas na espessura 45 mm	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros acústicos de avaliação	26
Tabela 2 – Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado	26
Tabela 3 – Nomenclaturas das argamassas	31
Tabela 4 – Nomenclaturas dos contrapisos	31
Tabela 5 – Granulometria da areia.....	32
Tabela 6 – Características do agregado natural.....	33
Tabela 7 – Granulometria do resíduo cerâmico	35
Tabela 8 – Características do resíduo cerâmico	36
Tabela 9 – Características químicas	36
Tabela 10 – Características físicas	37
Tabela 11 – Quantitativo de materiais utilizados nos protótipos.....	40
Tabela 12 – Quantitativo de água utilizada nos protótipos.....	40
Tabela 13 – Ensaio com argamassas no estado fresco	41
Tabela 14 – Ensaio com argamassas no estado endurecido	42
Tabela 15 – Critérios adotados para desempenho acústico	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A100	Argamassa com teor de 100% de substituição
A25	Argamassa com teor de 25% de substituição
A50	Argamassa com teor de 50% de substituição
A75	Argamassa com teor de 75% de substituição
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Corpo de prova
LBTEC	Laboratório de Tecnologia Construtiva
NBR	Norma Brasileira
RCD	Resíduo de construção civil e demolição
RCV	Resíduos de cerâmica vermelha
REF	Argamassa de referência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo principal	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
1.2	DELIMITAÇÕES DE PESQUISA	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	ARGAMASSA DE CONTRAPISO	15
2.1.1	Materiais da argamassa	16
2.1.2	Tipos de argamassa de contrapiso.....	17
2.1.3	Propriedades físicas e mecânicas da argamassa de contrapiso	17
2.1.4	Importância da argamassa de contrapiso	18
2.2	RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	18
2.2.1	Responsabilidades legais de RCC.....	19
2.2.2	Classificação dos resíduos	19
2.2.3	Definição do resíduo cerâmico	20
2.2.4	Reutilização do resíduo cerâmico.....	20
2.3	ARGAMASSAS E CONCRETOS COM RESÍDUOS CERÂMICOS	23
2.4	DESEMPENHO ACÚSTICO	25
2.4.1	Desempenho acústicos em compósitos cimentícios.....	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1	MATERIAIS	32
3.1.1	Agregado miúdo natural	32
3.1.2	Agregado miúdo reciclado	33
3.1.3	Aglomerante	36
3.1.4	Água	37
3.2	MÉTODOS	37
3.2.1	Moldagem de protótipos.....	37
3.2.2	Ensaio das argamassas.....	40
3.2.2.1	Ensaio das argamassas no estado fresco	40
3.2.2.1.1	<i>Índice de consistência</i>	<i>41</i>
3.2.2.2	Ensaio das argamassas no estado endurecido	42

3.2.2.3	Resistência à tração na flexão e compressão	42
3.2.2.4	Absorção da água por capilaridade	42
3.2.2.5	Densidade de massa no estado endurecido	43
3.2.2.6	Absorção da água por imersão, massa específica e índice de vazios	44
3.3	ENSAIO DE DESEMPENHO ACÚSTICO AO RUÍDO DE IMPACTO DOS CONTRAPISOS	45
3.3.1	Equipamentos utilizados	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1	ENSAIOS DO ESTADO FRESCO.....	50
4.1.1	Índice de consistência	50
4.2	ENSAIOS DO ESTADO ENDURECIDO	52
4.2.1	Resistência à compressão e à tração na flexão	52
4.3	ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE	54
4.4	ABSORÇÃO POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA	55
4.5	DENSIDADE DA ARGAMASSA.....	58
4.6	DESEMPENHO ACÚSTICO AO RUÍDO DE IMPACTO.....	59
4.6.1	Resultados no sistema AREF.....	60
4.6.2	Resultados no sistema A25.....	62
4.6.3	Resultados no sistema A50.....	65
4.6.4	Resultados no sistema A100.....	67
4.6.5	Resultados finais.....	70
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
	REFERÊNCIAS.....	77
	ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS BLOCOS USADOS COMO RESÍDUOS NOS ENSAIOS	82

1 INTRODUÇÃO

A argamassa é um material essencial na construção civil e desempenha um papel fundamental na estabilização e preparação do substrato para a aplicação de revestimentos. A dosagem adequada dos materiais constituintes é crucial para garantir as propriedades mecânicas e de desempenho necessárias da argamassa. Além disso, a aplicação correta da argamassa é necessária para obter uma superfície plana e uniforme, evitando irregularidades que possam comprometer a instalação dos revestimentos (Botelho; De Siqueira, 2021).

Nesse sentido, a legislação, representada pela Resolução Nº 307/2002 do Conama, busca evitar a geração de resíduos, reduzi-los, reutilizá-los, reciclá-los e, por fim, destiná-los corretamente. A gestão adequada dos resíduos da construção civil (RCC) é uma questão relevante no contexto da sustentabilidade ambiental. No Brasil, a responsabilidade pelo gerenciamento dos RCC é compartilhada entre o governo federal e as empresas de construção civil, que são responsáveis por coletar, transportar e destinar adequadamente esses resíduos.

Estudos realizados com o intuito de aproveitar uma parte do RCC ressaltam a importância da substituição de materiais convencionais por resíduos cerâmicos na busca por soluções mais sustentáveis na construção civil. A investigação de propriedades mecânicas e a compreensão do comportamento desses materiais em diferentes condições de aplicação contribuem para a ampliação do conhecimento e do aprimoramento das práticas construtivas (Furtado *et al.*, 2022).

Sob esse viés, no âmbito da construção civil, o conforto acústico desempenha um papel fundamental no projeto de habitações. O ruído indesejado pode ter um impacto significativo na qualidade de vida dos moradores, portanto, é essencial garantir ambientes internos livres de interferências sonoras. Para atingir esse objetivo, é necessário compreender os critérios de avaliação acústica, as técnicas de isolamento e absorção sonora, bem como as normas e regulamentações que estabelecem os requisitos mínimos de desempenho acústico para habitações (Nones, 2018).

Finalmente, foram obtidos resultados que contribuem para a compreensão dos efeitos da substituição do agregado miúdo natural por resíduos cerâmicos no desempenho acústico de argamassas de contrapiso com diferentes espessuras (25, 35 e 45mm). As análises detalhadas dessas conclusões foram conduzidas por meio

dos ensaios de ruído de impacto, conforme estipulado pela norma ABNT NBR ISO 16283-2:2021. Esses resultados poderão auxiliar na adoção de soluções mais sustentáveis e eficientes em projetos de construção civil, visando proporcionar maior conforto acústico aos ocupantes dos edifícios e uma alternativa de matéria prima às construtoras.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho dividem-se em geral e específicos e serão apresentados abaixo.

1.1.1 Objetivo principal

Avaliar o desempenho acústico de argamassas de contrapisos com substituição em volume (0, 25, 50 e 100%) considerando diferentes espessuras (25mm, 35mm e 45mm).

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são os seguintes:

- a) Analisar as propriedades das argamassas de contrapiso com diferentes teores de substituição em volume do agregado miúdo natural pelo agregado cerâmico reciclado;
- b) Identificar qual teor de substituição do resíduo na argamassa apresenta um melhor desempenho acústico para as argamassas de contrapiso;
- c) Avaliar a combinação ideal de espessura de contrapiso e teor de substituição de agregado miúdo para otimizar o desempenho acústico das argamassas selecionadas.

1.2 DELIMITAÇÕES DE PESQUISA

Esse trabalho tem como objetivo analisar e comparar os desempenhos acústicos das diferentes argamassas de contrapiso quando substituído o agregado miúdo por diferentes porcentagens de resíduos cerâmicos no Laboratório de

Tecnologia Construtiva da Universidade de Caxias do Sul. Primeiramente, foi realizada uma pesquisa sobre teses, artigos, publicações e bibliografias de diferentes argamassas com substituições ou adições de materiais não habituais na construção civil. Essas diferentes argamassas de contrapiso foram executadas e testadas com objetivo de comparar as diferentes proporções de substituição de agregado miúdo e definir qual porcentagem tem o melhor desempenho acústico entre pavimentos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, estão apresentadas as definições das argamassas de contrapiso, com foco em suas propriedades, diferentes tipos de materiais e sua importância nas obras. Também os conceitos do que são resíduos da construção civil, como são classificados perante as normas brasileiras e os principais meios para reaproveitá-los no mesmo setor de trabalho.

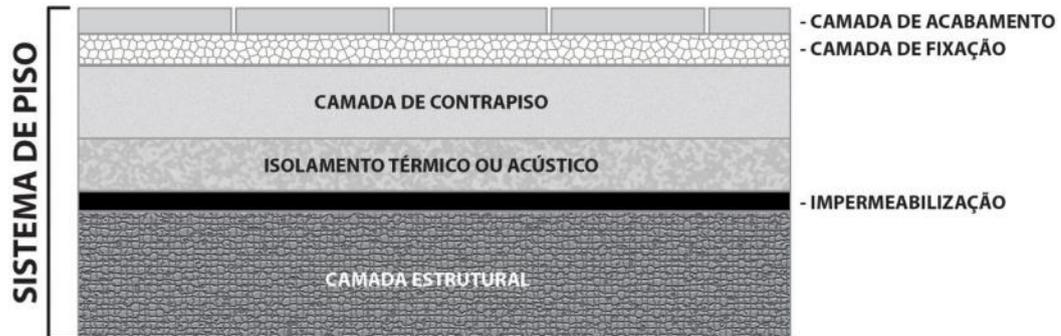
São analisadas outras pesquisas envolvendo a substituição do agregado miúdo e outras adições a argamassas e concretos, com diferentes funções em edificações. Para concluir, serão apresentadas as características do desempenho acústico, tanto em pisos quanto em outras esferas da construção civil, especificando suas normas, parâmetros e critérios, suas propriedades em compósitos cimentícios atualmente, além da sua importância para sociedade em geral.

2.1 ARGAMASSA DE CONTRAPISO

A argamassa é um material amplamente utilizado na construção civil, sendo aplicada como uma camada intermediária entre o piso e a base estrutural (Figura 1). Sua principal função é nivelar e regularizar o contrapiso, proporcionando uma superfície plana e resistente para a instalação de revestimentos. A sua composição geralmente envolve cimento, areia, água e aditivos, podendo variar de acordo com as especificações de cada projeto. A dosagem adequada dos materiais constituintes é essencial para garantir as propriedades mecânicas e de desempenho da argamassa (Botelho; De Siqueira, 2021).

De acordo com a NBR 13753 (ABNT, 1996), a espessura recomendada para o contrapiso deve ser entre 25 mm e 40 mm, com um traço indicado de 1:0,25:6 (cimento, cal e areia, respectivamente). A aplicação deve ser direta sobre a base ou camada intermediária (se existir) e ambas devem estar isentas de qualquer tipo de material ou produto que prejudique a aderência da argamassa. Durante sua execução, é importante que seu acabamento seja realizado acompanhando o ritmo do lançamento, com uma textura áspera como resultado final (consequência do sarrafeamento ou desempenamento). Tudo isso deve ser realizado com material e mão de obra qualificados, com a argamassa não podendo ser aplicada após 2,5 horas da produção, em condições normais.

Figura 1 – Sistema de pisos com indicação de camadas



Fonte: ABNT NBR 15575-3 (2013).

2.1.1 Materiais da argamassa

Atualmente, os materiais mais utilizados para a produção de argamassas são os aglomerantes, agregados miúdos e água. O acréscimo de aditivos, como os aceleradores e estabilizadores, tem se tornado mais comum no dia a dia da construção civil. O material mais utilizado como aglomerante no Brasil é o cimento Portland, e sua função é fazer a ligação entre os outros materiais e dar características de durabilidade, aderência e resistência mecânica ao produto final (Dubaj, 2000).

A característica chave do cimento é sua composição química, sendo aproximadamente 65% de óxido de cálcio (CaO), 20% óxido de silício (SiO_2), 5% óxido de alumínio (Al_2O_3) e 10% de outros compostos (Fe_2O_3 , MgO , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ e SO_3). Essas fórmulas químicas, quando unidas, reagem ao contato com a água (H_2O), onde formam-se novos compostos e ocorre o preenchimento dos espaços vazios, endurecendo esse elemento (Castro, 2021).

Já os agregados miúdos, usualmente areia, são responsáveis por cerca de 60% a 80% do produto final da argamassa. A norma NBR 7211 (ABNT, 2005) classifica os agregados miúdos em grãos que são detidos por peneiras de 4,74 mm e 0,15 mm. Essas areias naturais são provenientes dos leitos dos rios, enquanto os agregados artificiais consistem em rejeitos do processo de britagem de rocha basáltica, ou seja, materiais muito finos que não passaram pelo peneiramento do processo de fabricação de agregados graúdos (Fabro *et al.*, 2011).

2.1.2 Tipos de argamassa de contrapiso

Entre as diferentes argamassas usadas para contrapiso, destacam-se dois tipos que se distinguem por sua relação com a base: o aderido e o flutuante (SINAPI, 2021). O aderido, o mais comumente utilizado na construção civil, é uma camada de argamassa com menor espessura (entre 20 mm e 40 mm), que trabalha em conjunto com a base e, por se tratar de um contrapiso mais delicado, pode moldar-se às deformações da base. Torna-se, então, necessário um correto preparo da base e extremo cuidado na aplicação da argamassa.

Ainda segundo o SINAPI (2021), tem-se o flutuante, em que sua aplicação não é a camada final do contrapiso e sua espessura deve ser de, no mínimo, 40 mm. Essa dimensão maior que no aderido, torna-se necessária para um melhor desempenho acústico e um preenchimento de argamassa antes de receber sua camada final. Nesse caso, o contrapiso não trabalha em conjunto com a base, pois não está vinculada diretamente com os elementos construtivos.

2.1.3 Propriedades físicas e mecânicas da argamassa de contrapiso

Segundo Botelho e De Siqueira (2021), quando se fala de contrapiso, a principal propriedade que está relacionada é a resistência mecânica. Essa resistência trata-se da capacidade de durabilidade do contrapiso frente a ações externas, havendo resistividade contra abrasão, choque, compressão, tração e cisalhamento. Outra propriedade importante de ser citada é a aderência da base, consequência da pasta que se integra à argamassa de contrapiso, estabelecendo uma adesão mecânica nos poros da base.

Para Carasek (2010), a trabalhabilidade é outra propriedade de extrema importância, a qual pode ser dividida em duas subpropriedades: a) consistência; e b) plasticidade da argamassa. A consistência da argamassa está relacionada à sua fluidez e é classificada em três categorias: seca, plástica e fluida. A argamassa seca é caracterizada pela adição mínima de água, resultando em uma textura áspera. A argamassa plástica é a mais adequada para trabalhar, pois apresenta um equilíbrio entre seus componentes, garantindo uma boa adesão. Por outro lado, a argamassa fluida, devido ao excesso de água, possibilita uma distribuição fácil, porém pode dificultar a execução do trabalho em áreas maiores, além de correr o risco de

segregação, que ocorre quando os componentes da argamassa, como agregados e pasta de cimento, separam-se durante o processo de mistura, manuseio ou aplicação.

A propriedade plasticidade depende da quantidade e dos diferentes tipos de aglomerantes e agregados utilizados na preparação da argamassa, bem como da possibilidade de uso de aditivos e das variações de tempo e intensidade de mistura. Essas características desempenham um papel fundamental na busca por uma boa aderência, facilitando o preenchimento de vazios e minimizando a ocorrência de fissuras durante o processo de secagem e cura (Mindess; Young; Darwin, 2002).

2.1.4 Importância da argamassa de contrapiso

Para Barros (1991), o contrapiso é essencial para revestimento de pisos, tendo diversas funções nesse sistema. Seus principais papéis dentro da construção civil são: regularização da base (solução para problemas como desempenho incorreto, danos causados por descuido da mão de obra e deformações originadas da desforma das lajes); declividade das áreas molhadas (nivelamento com ângulo necessário para evitar acúmulo de líquidos na construção pronta); instalação de tubulações e pontos de utilização (sendo uma maneira mais econômica e de melhor aspecto visual de fazer essas ligações internas de residências ou outras construções).

Segundo Tutikian *et al.* (2017), o sistema de contrapiso também tem função essencial no isolamento aos ruídos de impacto. Para a proteção acústica, a camada de contrapiso ajuda na redução da vibração causada por ocupação e queda de objetos sobre o piso. Essa proteção vem da espessura da argamassa, que serve para amortecer e reduzir a ressonância desses ruídos diários.

2.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, a definição de resíduos da construção civil engloba qualquer resíduo gerado de construções, reformas, reparos e demolições atrelados à construção civil, incluindo serviços de terraplanagem nesse setor (Brasil, 2010). Os chamados Resíduos de Construção Civil (RCC) possuem um grande impacto ambiental, suas principais características são elevadas absorções, texturas ásperas, massa específica menor e forma lamelar (Malta; Silva; Gonçalves, 2013).

2.2.1 Responsabilidades legais de RCC

Além do governo federal, a Conama (2002) direciona a responsabilidade para as empresas de construção civil, tornando-as responsáveis por quaisquer resíduos gerados no canteiro de obra. Essas empresas são classificadas como geradoras, e os encarregados dessa coleta ou transporte para áreas de destinação já delimitadas são conhecidos como transportadores. O objetivo dessa lei é, primeiramente, evitar a geração dos resíduos, em seguida, reduzi-los, reutilizá-los, reciclá-los e, por último, fazer a disposição final adequada.

A resolução nº 307 da Conama (2002) também implementou o Plano Municipal de Gerenciamento dos Resíduos de Construção Civil, que estabelece como encargo obrigatório os municípios definirem diretrizes técnicas e procedimentos para os pequenos geradores, além de critérios para o sistema de limpeza urbana de cada cidade. Essa lei entrou em vigor em janeiro de 2003 e deu o prazo de 12 meses para os municípios elaborarem seus programas em geradores de pequenos volumes, e o prazo de 18 meses para encerrarem a disposição dos RCC em aterros de resíduos domiciliares.

2.2.2 Classificação dos resíduos

Os resíduos de construção civil se dividem em três classes, sendo o grupo 1, formado por materiais compostos de cimento, cal, areia e brita (concretos e argamassas). O grupo 2 inclui materiais cerâmicos como telhas, tijolos e azulejos. E o grupo 3 é composto por materiais não recicláveis: solo, gesso, metal, madeira, matéria orgânica, entre outros (ABRECON, 2021). Segundo o levantamento feito pelo autor, a média nacional brasileira de resíduos de construção civil chega a 84 milhões de metros cúbicos por ano e, entre esses, os resíduos com maiores porcentagens de descarte no Brasil foram a argamassa (63%), e concretos e blocos (29%). Os materiais pertencentes aos grupos 1 e 2 devem seguir essas instruções ou então serem encaminhados para aterros onde poderão ser utilizados futuramente. Essa fiscalização e o acompanhamento sobre as empresas deve ser realizado pelas prefeituras municipais individualmente.

Segundo Filho *et al.* (2016), a melhora sobre o manejo dos resíduos do grupo 3 pode resultar em ganhos econômicos, se comercializados com cooperativas de

reciclagem. Já os materiais referentes aos grupos 1 e 2 são resíduos que ainda não têm políticas de descarte adequadas, pois para se tornar 100% sustentável, os materiais destes grupos devem ser livres de qualquer ação atrelada à natureza e às suas matérias-primas.

2.2.3 Definição do resíduo cerâmico

A cerâmica vermelha é um material considerado essencial para a construção civil no Brasil atualmente, pois é utilizada em edificações com função estrutural e função de vedação. Esse material é formado principalmente de argila, que é aquecida em temperaturas de 700°C até 1800°C, tendo seu resultado final com uma consistência rochosa. A consequência deste processo é um elemento com bom isolamento à temperatura e à eletricidade. Sendo a argila uma matéria-prima vinda da natureza, como madeira ou água, ela não é infinita, e sua extração, sem planejamento adequado, vem tornando esse material cada vez mais escasso em nossos país (Almeida e Silva; De Melo, 2021).

Atualmente, quando se procura sobre a disposição final de resíduos cerâmicos, seu destino final é quase sempre o mesmo: o aterro sanitário. No entanto, para Oliveira (2019), o reaproveitamento do RCC pode atuar na melhoria das propriedades mecânicas e na durabilidade de compostos como concretos e argamassas. Resíduos como os da cerâmica vermelha podem ser usados como substitutos para o agregado miúdo, assim também diminuindo o esgotamento dos recursos naturais, consumo de energia e poluição de ar, solo e água (Santos; Cabral, 2020).

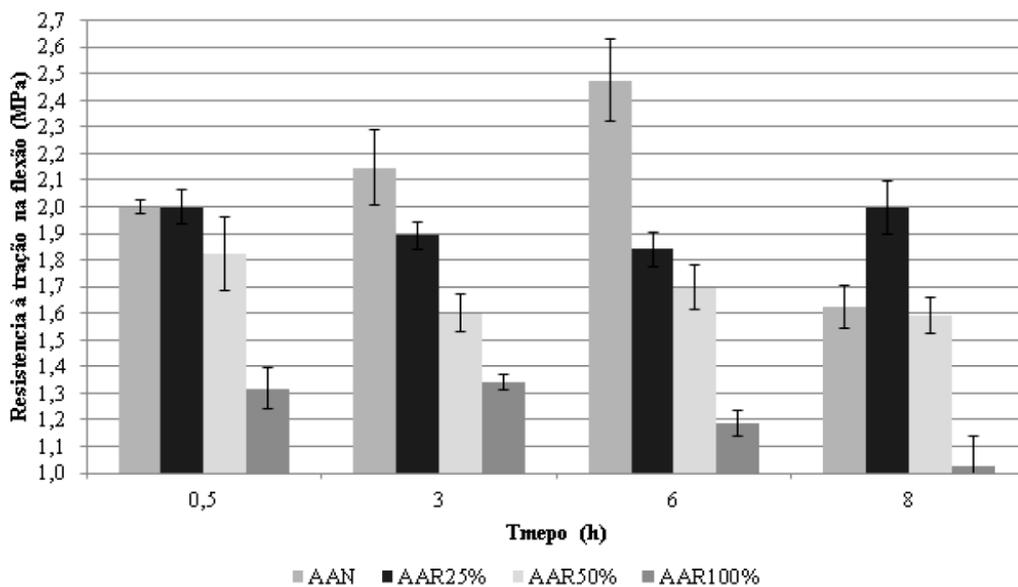
2.2.4 Reutilização do resíduo cerâmico

Diante dessa realidade, a reutilização de resíduos da construção civil tem se mostrado uma alternativa promissora. A reutilização consiste em dar um novo propósito aos resíduos, por meio de processos de reciclagem, recuperação ou reaproveitamento, de forma a reduzir a demanda por recursos naturais e minimizar o descarte em aterros sanitários. De acordo com Fabro *et al.* (2011), o esgotamento das jazidas de agregados, combinado ao custo de transporte e às leis ambientais mais rigorosas quanto à extração de areia natural em rios, tem criado dificuldades para o acesso à matéria-prima necessária para construtoras e indústria do setor civil. Uma

forma de contornar esse problema apresenta-se no reaproveitamento de materiais já utilizados na construção civil. Ainda seguindo os autores, há muita pouca influência da forma dos agregados miúdos no resultado final de resistência mecânica de argamassas, trazendo maior divergência na sua fluidez, pois grãos artificialmente fabricados tendem a ter um arredondamento maior, diminuindo, assim, seu ângulo de atrito.

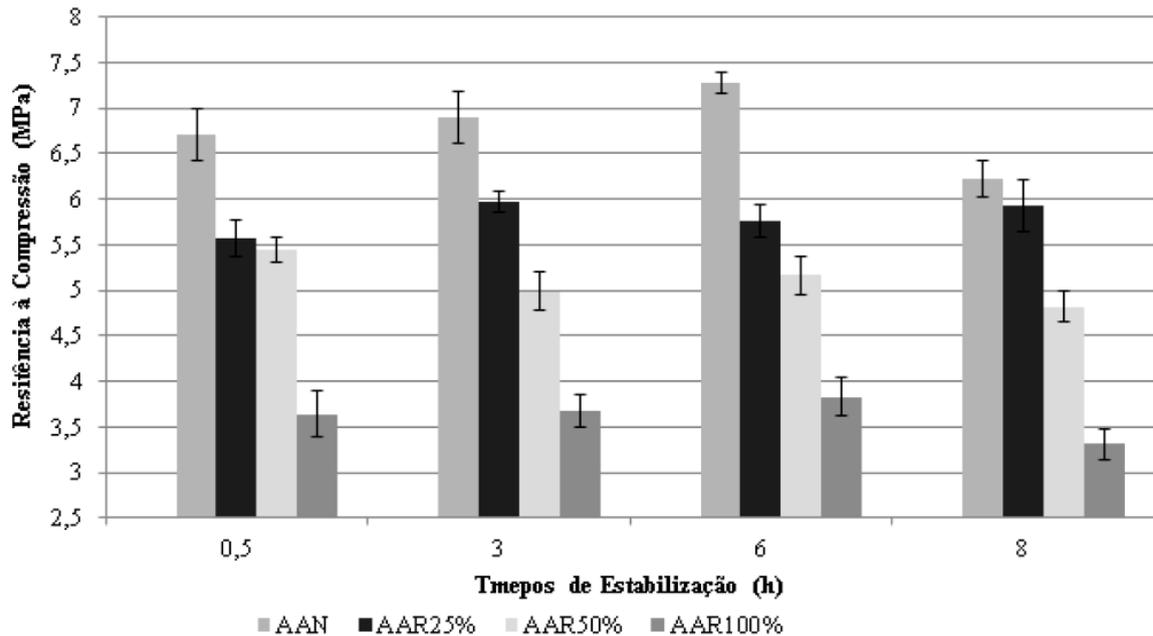
Segundo Santana e Pereira (2020), a utilização de resíduos de construção civil como agregado miúdo reciclado alcança resistência mecânica (Figuras 2 e 3) e módulo de elasticidade de mesma classe de um agregado miúdo natural em até 25% de substituição. Havendo aumento da porcentagem de material reciclado usado, foi-se perdendo densidade e aumentando o teor de ar das argamassas no estado fresco, que até mostrou uma plasticidade e trabalhabilidade ideais para utilização. No entanto, ao exceder essa substituição de agregado miúdo reciclado, encontraram-se perda de resistência e aumento do coeficiente de capilaridade.

Figura 2 – Gráfico comparativo de resistência à tração



Fonte: Santana e Pereira (2020).

Figura 3 – Gráfico comparativo de resistência à compressão



Fonte: Santana e Pereira (2020).

Também seguindo o pensamento de Oliveira (2019), em sua pesquisa, onde foi substituído 10% de resíduo de cerâmica vermelha, não houve alterações significativas nos resultados dos testes de resistências mecânicas. A resistência à tração foi semelhante, enquanto a resistência à compressão mostrou uma leve vantagem nos testes em que foi somente adicionado 10% do resíduo. Nos processos para reutilização, esses entulhos foram fragmentados manualmente e britados em britador mandíbula; em seguida, passaram por um moinho horizontal, foram para peneira, moinho excêntrico e, por fim, secagem. Todas as etapas parecem ser improváveis de serem adaptadas para a realidade hoje, porém essas pesquisas levam a esperança que futuramente se poderá reutilizar cada vez mais resíduos gerados na construção civil, evitando desperdício e mantendo as propriedades mecânicas dentro da norma.

Em pesquisas como a de Almeida e Silva e De Melo (2021), as principais características das argamassas com agregados reciclados que se mostraram superiores às da argamassa convencionais foram a absorção d'água (exceto em casos em que for aplicada impermeabilização sobre a argamassa), resistência à compressão (conectada a pozolanicidade dos resíduos cerâmicos) e módulo de elasticidade. Contudo, infelizmente, o aumento no teor de contaminantes nesses agregados é algo recorrente e pode levar ao prejuízo da qualidade, influenciando na

pega e em propriedades ligadas à qualidade e à durabilidade. O autor conclui dizendo que, para argamassas de revestimento, esse composto reciclado pode ser usado principalmente em emboços, não sendo recomendada para chapisco e assentamento de revestimento cerâmicos.

2.3 ARGAMASSAS E CONCRETOS COM RESÍDUOS CERÂMICOS

Para Furtado *et al.* (2022), o estudo comparativo das propriedades da argamassa de referência e da argamassa com resíduo cerâmico vermelho (RCV), com diferentes substituições de 20%, 50% e 100%, revelou resultados interessantes tanto em seus estados frescos quanto endurecidos. No estado fresco, observou-se que a densidade das argamassas diminuiu à medida que o teor de RCV aumentou, e sua trabalhabilidade também foi reduzida. No estado endurecido, a argamassa com RCV apresentou maior absorção de água, além de uma resistência superior à compressão e à tração (Figura 4).

O autor do estudo também destacou a necessidade de pesquisas futuras visando a definição do desempenho térmico, acústico e reológico dessas argamassas com RCV. Esses estudos adicionais seriam relevantes para uma compreensão mais abrangente do potencial desses materiais na melhoria do desempenho das argamassas, abrindo caminho para aplicações mais amplas e sustentáveis no setor da construção.

Figura 4 – Comparação das resistências mecânicas entre argamassas

Nomenclatura	Teor de substituição (%)	Resistência à compressão (MPa)	Classe
REF	0	1,21	P1
A20	20	2,01	P2
A50	50	2,66	P3
A100	100	4,73	P4

Fonte: Furtado *et al.* (2022).

De acordo com a pesquisa conduzida por Passos, Junior e Gomes (2019), a substituição de 40% do volume de agregado miúdo por resíduo cerâmico em concreto

resultou em uma resistência mecânica que atendeu aos requisitos estabelecidos pela NBR 6618 (ABNT, 2004). Além disso, essa substituição proporcionou uma melhor permeabilidade ao ar, resultando em um material final com menor porosidade e maior impermeabilidade. O estudo também demonstrou uma maior capacidade de cura interna no concreto modificado em comparação com o concreto de referência, devido à maior absorção de água. Essa substituição apresenta diversas vantagens em materiais já estabelecidos na indústria da construção civil.

Além da resistência mecânica, o estudo também avaliou as propriedades de resistência à tração (f_t), resistência à compressão (f_c) e módulo de deformação (E_c) aos 7 e 28 dias de idade, como ilustrado na Figura 5. Essas análises forneceram informações adicionais sobre o desempenho do concreto com a substituição de resíduo cerâmico em diferentes estágios de cura.

Figura 5 – Comparativos de resistências e módulos de deformação

CONCRETO	f_{c7} (MPa)	f_{t7} (MPa)	E_{c7} (GPa)	f_{c28} (MPa)	f_{t28} (MPa)	E_{c28} (GPa)
REF	24,26	-	20,00	30,00	3,34	22,10
S40	20,38	2,21	18,05	26,22	2,63	17,45
S100	16,43	2,15	8,0	19,04	2,23	11,30

Fonte: Passos, Junior e Gomes (2019).

No estudo realizado por Passos, Moreno e Souza (2020), buscou-se definir essas substituições de agregado graúdo por resíduos cerâmicos em altas temperaturas, com foco nas características de resistências. Havendo substituições entre 40% e 100%, os resultados dos concretos mostraram melhor capacidade de resistência ao fogo, confirmando a hipótese inicial. Já nos testes com o material em temperatura ambiente, foi constatado menor resistência mecânica, compressão e módulo de deformação diminuindo com relação proporcional ao aumento da porcentagem de substituição do agregado pelo resíduo cerâmico.

Já a pesquisa de Leite (2001) teve como ideia não apenas o uso do resíduo cerâmico como agregado miúdo, mas também a adição de cal hidratada em diferentes proporções ao graute. Com a adição de 4%, o resultado foi superior ao composto sem adição nos quesitos de resistência à compressão e à absorção de água por capilaridade em 8 dos 9 ensaios realizados. Isso abre portas não somente para

análises nas trocas e nos agregados, mas também na possibilidade de adições de outros compostos para a melhora do desempenho mecânico de concretos.

2.4 DESEMPENHO ACÚSTICO

A poluição sonora é um problema constante para os habitantes de áreas urbanas e industriais, gerando desconforto e afetando a qualidade de vida das pessoas. Surpreendentemente, esse desafio nem sempre recebe a atenção adequada por parte dos regulamentos de construção e das autoridades responsáveis pelo planejamento urbano. Um levantamento realizado, nos Estados Unidos, em 1978, revelou dados preocupantes sobre a percepção do ruído urbano. Nessa pesquisa, foi constatado que 46% das pessoas entrevistadas manifestaram-se incomodadas com o ruído, sendo que a esmagadora maioria, ou seja, 86% desses indivíduos apontaram o ruído do tráfego como a principal causa de incômodo. Esses números destacam a relevância do ruído proveniente das vias de circulação como uma das principais fontes de poluição sonora nas áreas urbanas (De Lacerda *et al.*, 2005).

O conforto acústico é um aspecto fundamental em projetos de habitações, uma vez que o ruído indesejado pode afetar significativamente a qualidade de vida dos moradores. Na construção civil, o desempenho acústico das habitações torna-se essencial para garantir ambientes internos tranquilos e livres de interferências sonoras indesejadas. Como parte essencial da construção civil, devemos compreender os critérios de avaliação acústica, as técnicas de isolamento e absorção sonora, bem como as normas e regulamentações que estabelecem os requisitos mínimos de desempenho acústico para habitações (Nones, 2018).

De acordo com Tutikian *et al.* (2021), na maioria das habitações construídas hoje, o piso e seu revestimento constituem a divisão entre andares, sendo de extrema importância para o desempenho acústico (tanto aéreo como de impacto). Sistemas de piso, com mais adição de mais camadas (contrapiso, revestimento ou forro suspenso de gesso), contribuem melhor para o desempenho acústico. Esses fatores só aumentam a importância de um bom entendimento entre diferentes tipos de argamassas de contrapiso que serão usadas e seus revestimentos finais. Outro fator importante é observar as normas e regulamentações locais relacionadas ao desempenho acústico em edificações. Em muitos países, existem requisitos mínimos estabelecidos por órgãos reguladores que devem ser seguidos para garantir um nível

adequado de conforto acústico entre andares.

Na NBR 15575 (ABNT, 2013), destaca-se a importância de isolamento de ruído de impacto, buscando determinar o nível de pressão sonora de impacto-padrão entre pisos pelo método de engenharia e uma estimativa de nível de pressão sonora em sistema de piso pelo método simplificado.

O ruído de impacto é o resultado de sons como pessoas ou animais caminhando, queda de objetos e outros em unidades habitacionais.

Os parâmetros acústicos seguem as Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Parâmetros acústicos de avaliação

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
L'nT,w	Nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado	ISO 140-7 ISO 717-2	Sistema de piso
DnT,w	Diferença padronizada de nível ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais, em edifícios (pisos, paredes, etc.)

Fonte: Adaptada da NBR 15575 (2013).

Tabela 2 – Critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado

Elemento	L'nT,w dB
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos.	≤ 80
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas	≤ 55

Fonte: Adaptada da NBR 15575 (2013).

2.4.1 Desempenho acústicos em compósitos cimentícios

Atualmente, a preocupação com a transmissão de som em habitações tem

levado à busca de materiais eficientes para revestimentos externos. O concreto tem sido amplamente utilizado nesse sentido, mas suas propriedades limitadas permitem apenas a reflexão das ondas sonoras, o que resulta em uma redução insuficiente, especialmente em espaços fechados. Essa inadequação pode acarretar uma série de complicações, incluindo o aumento das chances de perda auditiva e o estresse relacionado ao trabalho (Holmes; Browne; Montague, 2014).

Neste estudo, os pesquisadores investigaram o desempenho de isolamento acústico de uma matriz cimentícia de referência em comparação com uma matriz cimentícia que incorporava um compósito de casca de arroz. Os testes foram conduzidos abrangendo uma faixa de frequência de 50 Hz a 6.300 Hz. Os resultados obtidos tanto do desvio padrão em decibéis quanto na porcentagem de coeficiente de variação indicaram um desempenho superior da matriz com casca de arroz em comparação com a matriz referencial em frequências mais baixas (Figura 6).

Figura 6 – Resultados entre matrizes

FREQUÊNCIA (Hz)	MATRIZ CIMENTÍCIA			COMPÓSITO COM CASCA DE ARROZ		
	ISOLAMENTO (dB)	D. P. (dB)	C.V. (%)	ISOLAMENTO (dB)	D. P. (dB)	C.V. (%)
50	11,70	0,74	6,29	16,00	1,49	9,28
125	20,96	1,18	5,62	22,71	1,43	6,31
250	17,72	2,04	11,52	18,02	1,43	7,93
500	33,27	2,90	8,72	30,02	1,90	6,34
1000	46,19	3,62	7,84	48,35	3,13	6,47
2000	57,46	4,64	8,07	50,29	3,38	6,72
4000	60,52	2,30	3,81	55,08	5,04	9,15
6300	65,00	7,30	11,24	60,02	1,89	3,15

Fonte: Holmes; Browne; Montague, 2024.

Conforme o estudo conduzido por Anacleto (2020), tem-se observado uma melhoria no desempenho acústico de compósitos cimentícios quando aditivos são adicionados durante sua fabricação. Um exemplo notável dessa melhoria é o uso de lodo proveniente de estações de tratamento de água (LETA) como aditivo. A pesquisa realizada pela autora revelou que a adição de LETA em blocos de concreto resultou em uma redução média de transmissão sonora de 14,02 dB, o que representa uma melhoria de 8,2% em relação ao desempenho dos blocos de referência (12,95 dB). É importante ressaltar que, mesmo quando diferentes proporções de aditivos foram testadas nos compósitos cimentícios, observou-se que o melhor desempenho foi alcançado nos blocos que continham uma maior proporção de LETA (4% e 5%).

Além disso, o estudo também mencionou a adição de outros materiais, como

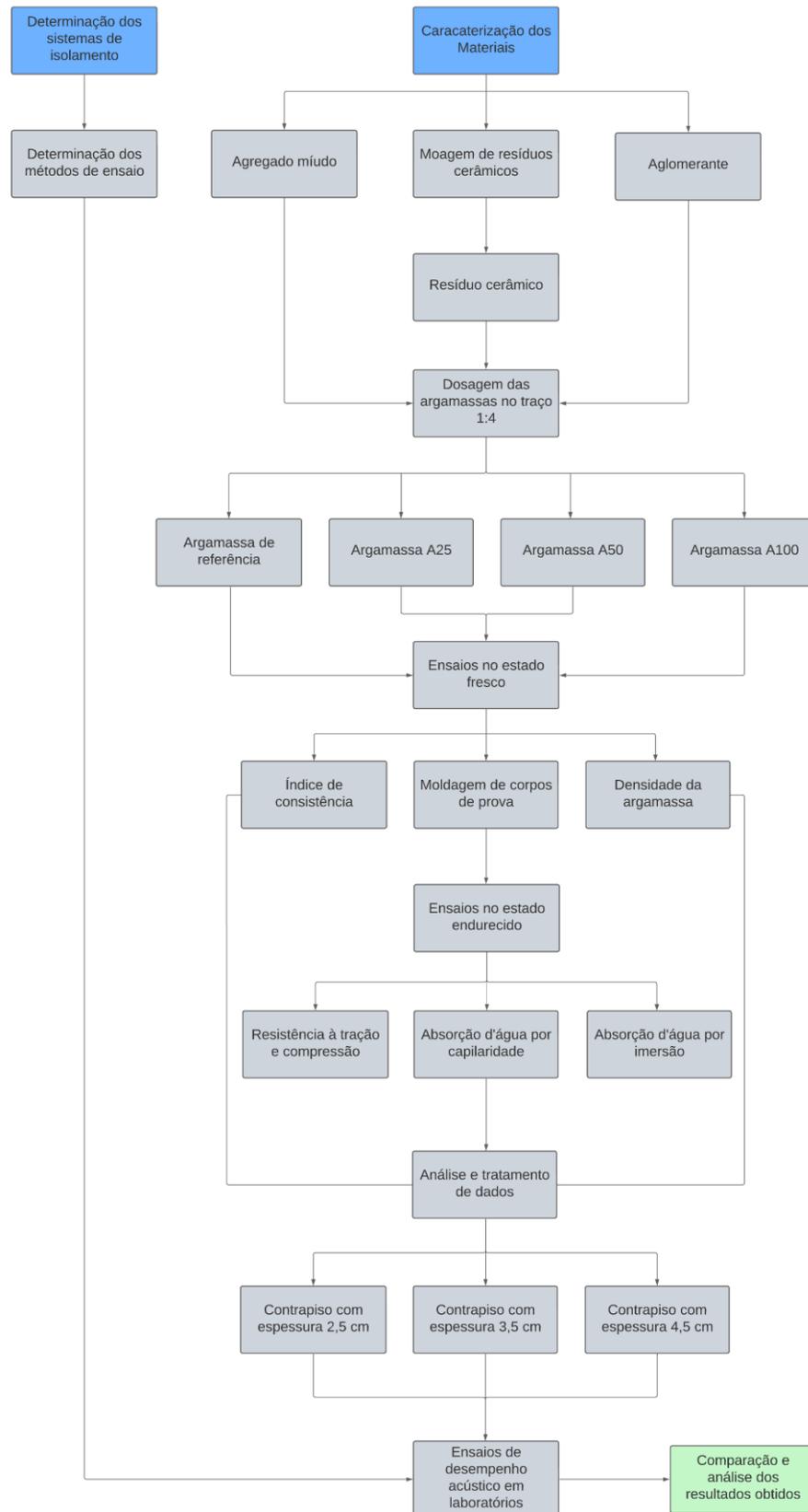
cascas de sementes de palmeira e conchas de mariscos, em blocos de concreto, os quais também resultaram em melhorias no desempenho acústico. Essas descobertas destacam a relevância dessas pesquisas na busca por soluções que aprimorem as propriedades acústicas dos materiais cimentícios utilizados na construção civil.

Seguindo a pesquisa de Tutikian *et al.* (2017), em que houve adição de agregado leve na argamassa, encontrou-se resultados positivos, e sistemas onde foram substituídos 100% do agregado miúdo natural por agregado miúdo polimérico aumentaram o desempenho acústico do piso e resultaram em uma resistência mecânica satisfatória. Ainda que essas adições e substituições não tenham sido testadas num sistema de piso completo, os resultados são de extrema relevância para determinar um isolamento de ruído de impacto mais viável. Isso abre portas para testes com diferentes variantes de argamassas de contrapiso e na possibilidade de haver algum substituto que consiga diminuir o custo e a geração de resíduos na construção civil.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão abordadas todas as etapas e métodos utilizados para realização dessa pesquisa, conforme Figura 7. Primeiramente, os materiais aplicados para a produção das diferentes argamassas de contrapiso e suas aplicações. Em seguida, os protótipos de pisos executados, com as diferentes espessuras definidas para esse estudo. E, por último, os equipamentos usados para as análises do desempenho acústico e seus procedimentos.

Figura 7 – Fluxograma de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com base no modelo de Furtado *et al.* (2022), adotou-se a aplicação de percentuais de substituição de agregado miúdo de 25%, 50% e 100%. Nesse estudo de referência, os resultados das resistências mecânicas revelaram um aumento significativo com o aumento do teor de substituição do agregado miúdo natural pelo agregado reciclado cerâmico. Isso foi feito para analisar o desempenho das argamassas em cada proporção, incluindo a substituição completa do agregado miúdo natural. Para estabelecer uma nomenclatura uniforme para cada composição de argamassa desta pesquisa, foi criada uma classificação, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Nomenclaturas das argamassas

Abreviatura	Traço
REF	Argamassa com 100% de agregado miúdo natural.
A25	Argamassa com 25% de substituição de agregado miúdo por resíduo cerâmico.
A50	Argamassa com 50% de substituição de agregado miúdo por resíduo cerâmico.
A100	Argamassa com 100% de substituição de agregado miúdo por resíduo cerâmico.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Cada uma das argamassas de contrapiso fora avaliada em seu estado fresco e endurecido. Ainda foram confeccionados protótipos com dimensões de 1,0 m x 1,0 m e diferentes espessuras (2,5; 3,5 e 4,5 cm) para cada uma das argamassas com finalidade de avaliar a influência frente ao desempenho acústico dos contrapisos, conforme apresentado na Tabela 4. Essas espessuras foram definidas segundo a NBR 13753 (ABNT, 1996) e NBR 12260 (ABNT, 2013), normas para argamassas de contrapiso e argamassas de alta resistência.

Tabela 4 – Nomenclaturas dos contrapisos

Abreviatura	Espessura de contrapiso
C25	Contrapiso com espessura de 25 mm (2,5 cm)
C35	Contrapiso com espessura de 35 mm (3,5 cm)
C45	Contrapiso com espessura de 45 mm (4,5 cm)

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.1 MATERIAIS

Estão descritos nessa etapa os materiais utilizados para a confecção das amostras. Essa etapa foi essencial para determinar suas composições e características.

3.1.1 Agregado miúdo natural

O agregado miúdo natural utilizado neste estudo foi adquirido em um estabelecimento comercial localizado em Bento Gonçalves, RS. Este agregado é proveniente de extração natural de leito fluvial. Para determinar as propriedades físicas do agregado, como a sua distribuição granulométrica, adotaram-se as metodologias descritas nas normas técnicas NBR 17054 (ABNT, 2022).

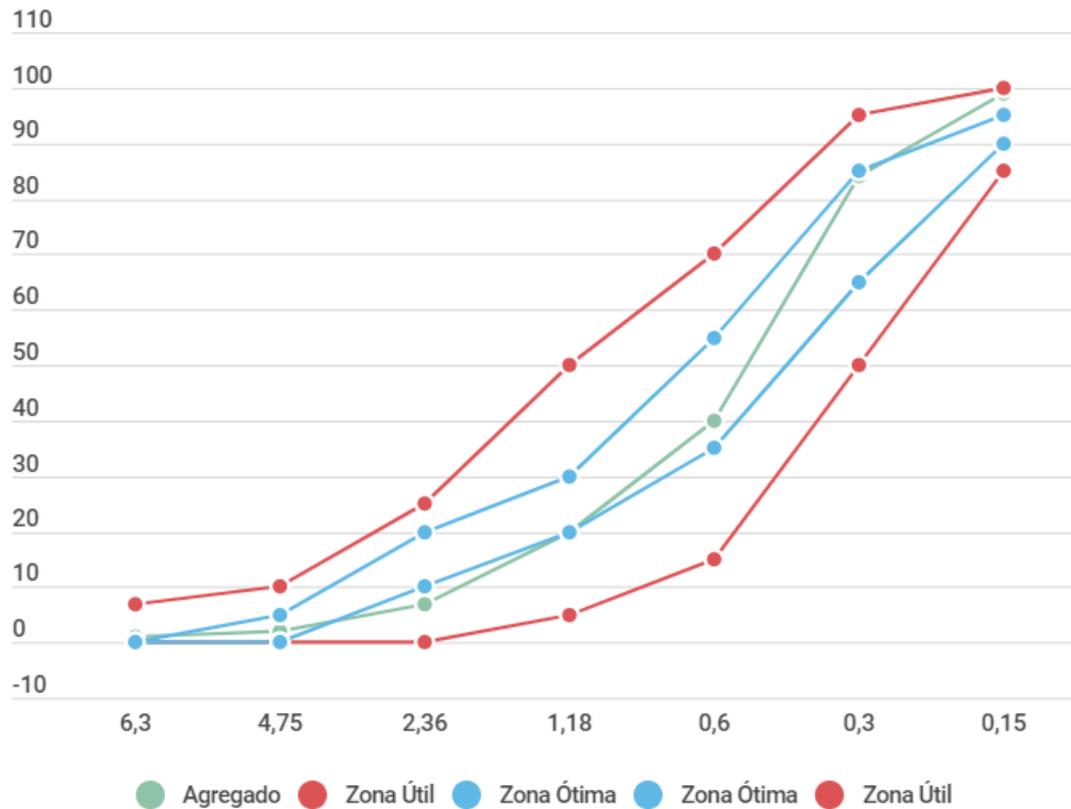
A massa específica e o ensaio de absorção de água foram determinados utilizando a norma NBR 16916 (ABNT, 2021). Observam-se os dados nas Tabelas 5 e 6 e no Gráfico 1.

Tabela 5 – Granulometria da areia

Abertura peneira (mm)	Retido (%)	Acumulado (%)
4,75	2	2
2,36	5	7
1,18	13	29
0,60	20	40
0,30	44	84
0,15	15	99
Fundo	1	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Gráfico 1 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 6 – Características do agregado natural

Agregado miúdo natural	
Módulo de finura	3,53
Dimensão característica Máxima (mm)	4,75
Material fino (%)	7
Absorção d'água (%)	0,51
Massa específica (g/cm³)	2,60

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.1.2 Agregado miúdo reciclado

Com o propósito de obter o agregado miúdo reciclado necessário para a pesquisa, foram coletados resíduos de cerâmicas vermelhas provenientes de uma obra localizada em Bento Gonçalves, RS. As especificações técnicas desse material (anteriores ao seu descarte) encontram-se no Anexo A. Vale ressaltar que esses resíduos consistem exclusivamente em tijolos empregados na construção de

alvenarias de vedação. A moagem dos resíduos para obtenção do agregado miúdo foi realizada pela empresa Scariot, localizada em Caxias do Sul, RS. Nesse processo, os resíduos foram submetidos à britagem em um moinho de mandíbulas (Figura 8). Após a etapa de moagem, o material resultante foi direcionado às peneiras para classificação em diferentes padrões granulométricos.

Realizou-se um ajuste da granulometria do agregado reciclado em laboratório, de modo a obter uma distribuição granulométrica semelhante à do agregado miúdo natural que foi substituído. Foram realizados os mesmos ensaios utilizados para o agregado miúdo natural, a fim de comparar os resultados obtidos, conforme Tabelas 7 e 8 e Gráfico 2.

Figura 8 – Equipamento utilizado para moagem



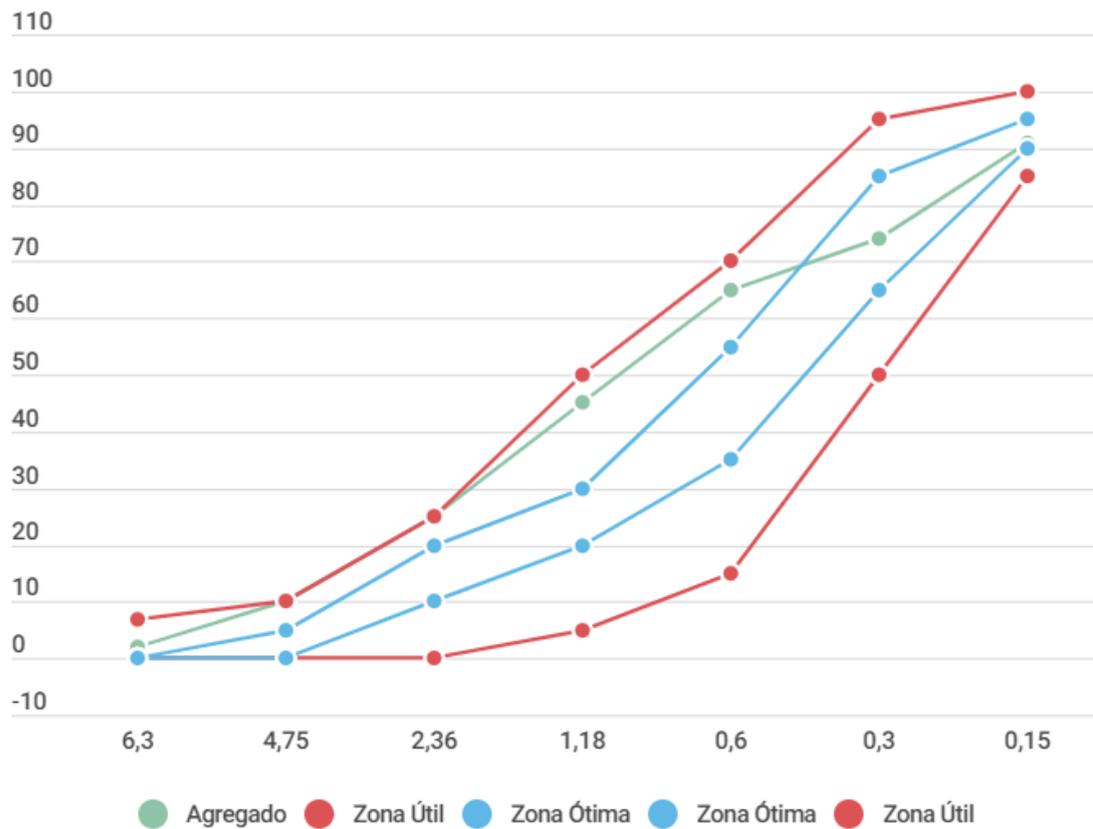
Fonte: Scariot (2023).

Tabela 7 – Granulometria do resíduo cerâmico

Abertura peneira (mm)	Retido (%)	Acumulado (%)
4,75	10	10
2,36	15	25
1,18	20	45
0,60	20	65
0,30	9	74
0,15	17	91
Fundo	9	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Gráfico 2 – Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 8 – Características do resíduo cerâmico

Agregado miúdo reciclado	
Módulo de finura	3,1
Dimensão característica Máxima (mm)	4,75
Material fino (%)	26
Absorção d'água (%)	24,72
Massa específica (g/cm³)	1,62

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.1.3 Aglomerante

O aglomerante escolhido para esta pesquisa é o cimento Itambé CP II-F-40, o qual foi utilizado na elaboração das argamassas. A decisão de optar por esse cimento foi embasada em sua resistência mecânica, sendo frequentemente empregado na regularização de pisos e em obras que demandam maior durabilidade, tanto em termos de resistência quanto em relação a ataques químicos, conforme Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 – Características químicas

Características	Resultado médio (%)
Al₂O₃	4,32
SiO₂	18,31
Fe₂O₃	2,87
CaO	60,77
MgO	3,61
SO₃	3,15
Perda fogo	5,78
CaO Livre	1,73
Resíduo Insolúvel	1,31
Equivalente Alcalino	0,61

Fonte: Itambé (2023).

Tabela 10 – Características físicas

Características	Resultado médio (%)
Início da pega (min)	169
Fim da pega (min)	219
Consistência normal (%)	29,5
Resistência à compressão (1 dia)	25,5
Resistência à compressão (3 dia)	39,4
Resistência à compressão (7 dia)	44,7
Resistência à compressão (28 dia)	52,3
Massa específica (g/cm³)	3,05

Fonte: Itambé (2023)

3.1.4 Água

No processo de preparação das argamassas, utilizou-se água proveniente da rede de abastecimento tratada do município de Bento Gonçalves, RS. Essa água foi adicionada durante a etapa de mistura dos materiais, com o intuito de alcançar uma faixa de trabalhabilidade uniforme entre as diferentes composições.

3.2 MÉTODOS

Para fins desta pesquisa, foi adotado o traço de contrapiso e a relação água/cimento de acordo com as normas técnicas NBR 13753 (ABNT, 1996) e NBR 12655 (ABNT, 2016), tanto para as argamassas de referência quanto àquelas contendo resíduos. A substituição do agregado miúdo natural pelo agregado reciclado cerâmico ocorreu em diferentes proporções: 25%, 50% e 100%. Essa substituição realizou-se considerando uma compensação de volume de agregados, a fim de ajustar as quantidades em relação às suas massas específicas. Tal abordagem foi adotada para evitar discrepâncias no volume final dos materiais.

3.2.1 Moldagem de protótipos

As estruturas utilizadas para a fabricação dos protótipos foram montadas com dimensões de 1,0 m x 1,0 m, utilizando uma folha de madeira compensada laminada

com espessura de 25 mm. Os protótipos foram construídos de forma fiel aos materiais e aos métodos empregados nos sistemas de contrapiso disponíveis no mercado atual, com a única modificação ocorrendo nas composições das espessuras, pois essa pesquisa utilizou 2,5; 3,5 e 4,5 cm.

Na pesquisa conduzida por Borges (2015), a proporção de 1:4 em massa no traço de contrapiso foi empregada para todas as argamassas de referência e aquelas contendo resíduos. Essa mesma proporção foi adotada neste trabalho.

A substituição foi realizada pela massa do agregado miúdo natural, substituindo 25%, 50% e 100% pelo reciclado cerâmico. O cálculo para tal compensação foi por meio da Equação 1 (Leite, 2001). No trabalho de Passos, Junior e Gomes (2019), a substituição do agregado miúdo por diferentes materiais necessitou de uma pré-umidificação destes agregados com 80% da água de amassamento com intuito de ajustar as quantidades em função das diferentes absorções de água dos materiais. Ainda os autores mencionam o cuidado em uma substituição simples em massa possivelmente ocorrerá uma discrepância em relação ao volume final dos materiais, modificando o traço.

Equação 1:

$$M_{amr} = \frac{M_{amn} \cdot y_{amr}}{y_{amn}}$$

Onde:

M_{amr} (kg) = massa do agregado miúdo reciclado a ser utilizado;

M_{amn} (kg) = massa do agregado natural a ser substituído;

y_{amr} (kg/m³) = massa específica do agregado miúdo reciclado;

y_{amn} (kg/m³) = massa específica do agregado miúdo natural.

As argamassas foram misturadas em uma betoneira de eixo inclinado, da seguinte forma: primeiramente a água, em seguida todo o cimento do traço e, conforme se misturando, será adicionado o agregado miúdo. Para os traços com substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado, realizou-se uma pré-molhagem, devido às características de absorção desses materiais serem distintas. O agregado miúdo reciclado passou pela pré-molhagem de 80% medido em massa, ou seja, 80% de sua capacidade de absorção de água, com a finalidade de inserir o material na mistura com um equilíbrio e não absorver toda a água do traço,

assim como Padovan (2013) testou em seu trabalho. Cada traço foi separado e realizado a pré-molhagem individualmente com 72 horas de antecedência. Após a moldagem dos corpos de prova as argamassas ficaram ao ambiente para o processo de cura de 24 horas (Figura 9), e posterior a isso desmoldadas, e ficando no ambiente de laboratório até os 21 dias para realização dos ensaios. Além disso, conforme as Tabelas 11 e 12, há o demonstrativo da quantidade de materiais e de água utilizados nestes protótipos.

Figura 9 – Protótipos de contrapiso



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 11 – Quantitativo de materiais utilizados nos protótipos

Traço	Aglomerante (kg)	Agregado natural (kg)	Agregado reciclado (kg)	A/C
AREF	45,78	183,12	0	0,62
A25	45,78	137,34	28,41	0,69
A50	50,78	101,56	63,03	0,69
A100	58,53	0	145,29	0,73

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Tabela 12 – Quantitativo de água utilizada nos protótipos

Traço	Água na pré-molhagem (kg)	Água na mistura (kg)	Água total (kg)
AREF	0	28,50	28,50
A25	5,62	26,05	31,67
A50	11,24	24,01	35,25
A100	22,47	14,53	37,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.2.2 Ensaio das argamassas

Os métodos adotados para investigar as propriedades mecânicas das argamassas, tanto no estado fresco quanto no endurecido, foram conduzidos no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade de Caxias do Sul, localizado em Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul. Os ensaios realizados abrangeram uma série de testes para avaliar as características das argamassas em ambos os estados.

3.2.2.1 Ensaio das argamassas no estado fresco

As técnicas empregadas na análise das propriedades das argamassas no estado fresco são abordadas neste capítulo. Todos os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade de Caxias do Sul

(CARVI). Os testes realizados para avaliar as características das argamassas no estado fresco são detalhados na Tabela 13.

Tabela 13 – Ensaio com argamassas no estado fresco

Ensaio	Normas	Nº de ensaios
Índice de consistência	NBR 13276 (ABNT, 2016)	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.2.2.1.1 Índice de consistência

Para avaliar o índice de consistência da argamassa em seu estado fresco, conforme Figura 10, foram conduzidos três ensaios para cada proporção de argamassa. No ensaio de espalhamento, a argamassa foi moldada em uma forma sobre a mesa de abatimento em três camadas sucessivas, com 15, 10 e 5 golpes, respectivamente. Em seguida, a forma foi removida, e a argamassa foi submetida a 30 golpes na mesa de abatimento, aplicando um golpe por segundo. Após essa etapa, o diâmetro formado pela argamassa na mesa foi medido, conforme estabelecido pela norma NBR 13276 (ABNT, 2016).

Figura 10 – Ensaio de índice de consistência



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.2.2.2 Ensaio das argamassas no estado endurecido

No desenvolvimento deste estudo, foram conduzidos ensaios no estado endurecido, a fim de determinar as propriedades mecânicas das argamassas, conforme detalhado na Tabela 14.

Tabela 14 – Ensaio com argamassas no estado endurecido

Ensaio	Normas	Nº de corpos de prova
Resistência à tração na flexão e compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005)	3
Absorção d'água por imersão	NBR 9778 (ABNT, 2019)	3
Absorção d'água por capilaridade	NBR 15259 (ABNT 2005)	3
Massa específica e índice de vazios	NBR 9778 (ABNT, 2019)	3
Densidade de massa	NBR 13280 (ABNT, 2005)	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.2.2.3 Resistência à tração na flexão e compressão

Para avaliar as resistências à compressão e à tração na flexão, foram seguidas as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Nesse contexto, foram confeccionados três corpos de prova prismáticos, nos quais foram realizados três ensaios de tração na flexão e seis ensaios de resistência à compressão para cada tipo de argamassa. Essas avaliações foram conduzidas na idade de 21 dias.

3.2.2.4 Absorção da água por capilaridade

A avaliação dessa característica foi conduzida por meio de ensaios em conformidade com a norma NBR 15259 (ABNT, 2005). Para tanto, foram realizados ensaios em três amostras para cada traço de argamassa, após o período de 21 dias

de cura. Durante o ensaio, o corpo de prova foi imerso em água com uma lâmina aproximada de 5 mm de espessura. A seguir, a massa do corpo de prova foi medida nos intervalos de 10 e 90 minutos. A determinação desses parâmetros foi realizada por meio da Equação 2.

Equação 2:

$$At = \frac{mt - m0}{16}$$

Onde:

At é a absorção de água por capilaridade (g/cm²);

mt é a massa do corpo de prova nos tempos calculados (g);

m0 é a massa inicial, antes do ensaio (g);

16 é a área do corpo de prova (cm²).

3.2.2.5 Densidade de massa no estado endurecido

Três amostras foram preparadas, cada uma com sua composição específica, a fim de determinar a densidade de massa aparente no estado endurecido, conforme estabelecido pela norma NBR 13280 (ABNT, 2005). Para obter esses valores, foram mensurados três corpos de prova prismáticos, cada um deles com três medidas para cada dimensão do corpo prismático. Ao atingir o período de 21 dias, os corpos de prova foram pesados. A partir da Equação 3, foi possível calcular a densidade aparente no estado endurecido para cada composição.

Equação 3:

$$pmáx = \frac{m}{v} \times 1000$$

Onde:

Pmáx é a densidade da massa (kg/m³)

m é a massa do corpo de prova (g)

v é o volume do corpo de prova (cm³)

3.2.2.6 Absorção da água por imersão, massa específica e índice de vazios

Conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 9778 (ABNT, 2019), o ensaio foi conduzido mediante solicitação expressa após a cura das argamassas. Inicialmente, três corpos de prova de cada traço foram submetidos a uma estufa a 105°C por 24 horas para determinação da massa da amostra (m_s). Após o resfriamento, as amostras foram submetidas a um processo de secagem e pesagem. Posteriormente, as amostras foram saturadas em um tanque de água por 72 horas, seguido por um novo ciclo de saturação no qual as amostras foram fervidas por 5 horas. Após esse processo, as amostras foram deixadas no recipiente para esfriar até atingir a temperatura ambiente.

Finalmente, as amostras saturadas foram pesadas com o auxílio de uma balança hidrostática de precisão, conforme preconiza a NBR 9778 (ABNT, 2019). Para efeitos de cálculo, foi realizada a média dos resultados obtidos nos três corpos de prova ensaiados para cada traço, conforme as Equações 4, 5 e 6.

Equação 4:

$$A = \frac{msat - ms}{ms} \times 100$$

Onde:

A = absorção de água por imersão (%);

Msat = massa do corpo de prova saturado após imersão e fervura (kg);

Ms = massa do corpo de prova seco em estufa (kg).

Equação 5:

$$I = \frac{msat - ms}{msat - mi} \times 100$$

Onde:

I = Índice de vazios;

Mi = massa do corpo de prova saturado imersa após fervura (kg);

Equação 6:

$$ps = \frac{ms}{msat - mi}$$

Onde:

ps: massa específica (kg/m³);

3.3 ENSAIO DE DESEMPENHO ACÚSTICO AO RUÍDO DE IMPACTO DOS CONTRAPISOS

As normas técnicas que regulam os procedimentos de medição de isolamento acústico em edificações e isolamento de ruído de impacto são, respectivamente, a NBR 16283-1 (ABNT, 2018) e a NBR 16283-2 (ABNT, 2021). Esses ensaios com ruído de impacto foram realizados no Laboratório de Tecnologia Construtiva da Universidade de Caxias do Sul (Figura 11).

Figura 11 – Laboratório de Tecnologia Construtiva da Universidade de Caxias do Sul



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.3.1 Equipamentos utilizados

Nesta seção, estão apresentados os equipamentos disponibilizados pela Universidade de Caxias do Sul para a condução dos ensaios de desempenho acústico em relação ao ruído de impacto:

- a) calibrador: o calibrador é utilizado para ajustar e calibrar os microfones dos equipamentos de medição de desempenho acústico. Ele gera um sinal sonoro de frequência conhecida e intensidade predefinida, permitindo a verificação e ajuste preciso dos sensores acústicos (Figura 12);
- b) analisador portátil: o analisador portátil é um dispositivo que realiza medições detalhadas das características acústicas de um ambiente ou de um elemento construtivo. Ele pode ser utilizado para análises de espectro, nível de pressão sonora, tempo de reverberação, entre outras métricas, proporcionando flexibilidade e mobilidade durante as medições (Figura 13);
- c) fonte de impacto: a fonte de impacto é empregada para gerar impulsos mecânicos padronizados, como batidas controladas, que induzem vibrações na estrutura sendo avaliada (Figura 14).

Figura 12 – Calibrador utilizado nos ensaios



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 13 – Analisador portátil utilizado nos ensaios



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 14 – Fonte de impacto utilizada nos ensaios



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Antes de dar início às medições, o analisador portátil foi calibrado seguindo as orientações da norma IEC 60942, conforme preconizado pela norma ABNT NBR ISO

16283-2:2021. Essa calibração foi executada por um técnico de laboratório autorizado para realizar tal procedimento.

O ensaio de desempenho de ruído de impacto foi conduzido de acordo com os requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 16283-2:2021. Nesse procedimento, uma sala de recepção foi selecionada, na qual o som foi gerado por uma fonte de impacto operada em uma sala no andar abaixo. A laje que separa os andares possui uma espessura de 10 centímetros. As medições abrangeram os níveis de pressão sonora na sala de recepção durante a operação da fonte de impacto e os níveis de ruído de fundo quando a fonte de impacto foi desativada.

Ainda pelos parâmetros da norma, as medições de nível de pressão sonora e ruído de fundo foram realizadas na zona central da sala. Durante a ativação da fonte de impacto, o nível médio de pressão sonora foi obtido usando um conjunto de microfones fixos.

A fonte de impacto foi posicionada em pelo menos duas localizações distintas, distribuídas aleatoriamente no piso em teste, com uma distância mínima de 0,1 m entre a máquina e as bordas do piso. Para as medições de nível de pressão sonora de impacto, o microfone foi colocado em quatro posições diferentes para cada configuração da fonte de impacto.

A máquina de vazamento padrão utilizada possuía cinco martelos alinhados com uma distância média de 10 mm entre eles, cada um com uma massa efetiva de 500 g e queda livre de uma altura de 40 mm. A máquina era autoguiada, com um intervalo médio entre os impactos de 100 ms. A Figura 15 ilustra a posição da fonte de impacto.

Figura 15 – Posição inicial da fonte de impacto para realização do ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão apresentados os resultados e análises dos dados obtidos nas argamassas de contrapiso nos sistemas simulando um contrapiso, com as diferentes características propostas por esta pesquisa.

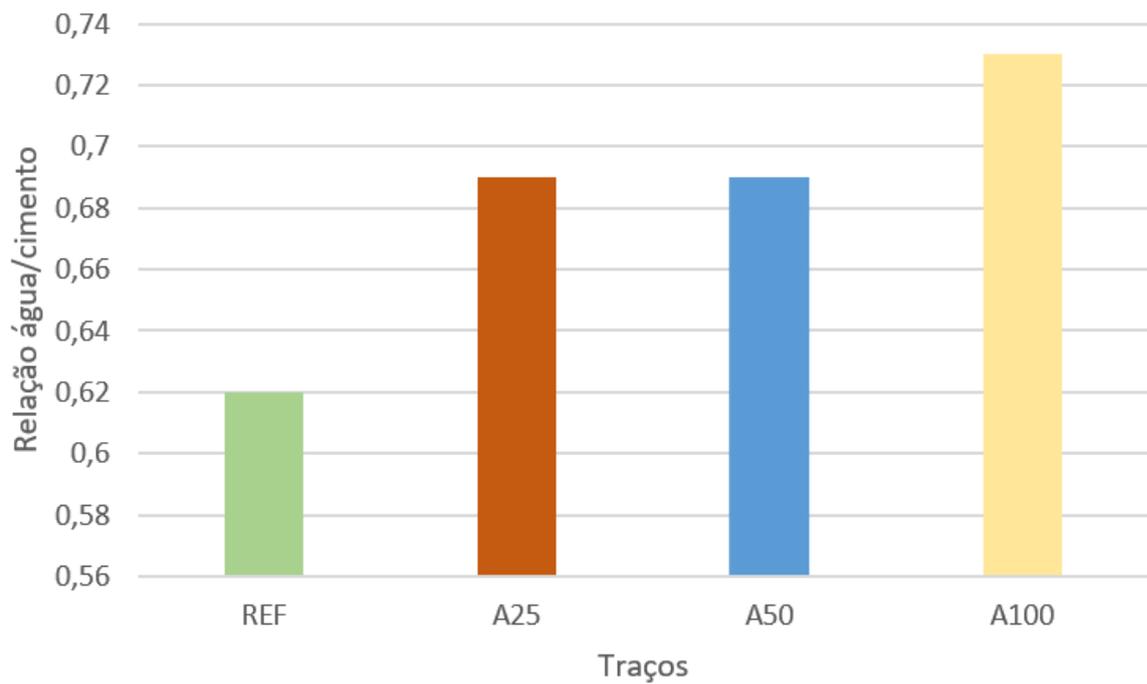
4.1 ENSAIOS DO ESTADO FRESCO

Os resultados dos ensaios realizados no estado fresco para as argamassas utilizadas nesta pesquisa estão expostos nesta seção.

4.1.1 Índice de consistência

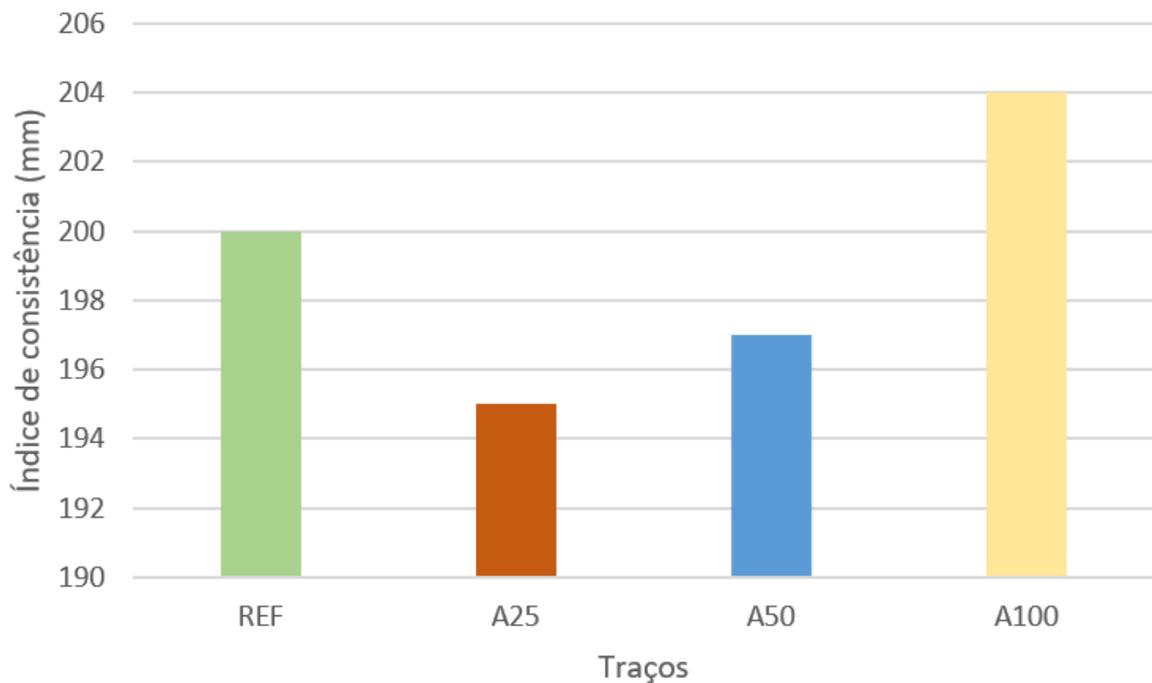
Ao empregar a pré-molhagem para prevenir a absorção de água no traço, as amostras com percentagem de substituição de agregados apresentaram uma tendência de aumento na relação água/cimento (Gráfico 3). Esse indicador considera a quantidade total de água utilizada, tanto na fase de pré-molhagem quanto na composição da mistura. Enquanto a amostra AREF demandou 28,50 kg de água para atingir uma trabalhabilidade adequada, a argamassa A100 necessitou apenas de 14,53 kg para alcançar o mesmo nível, considerando que o total de 22,47 kg foram calculados durante a pré-molhagem. Em busca de um índice de consistência mais equilibrado, a dosagem da água nas argamassas com agregado reciclado foi cuidadosamente ajustada para assegurar uma trabalhabilidade semelhante em todas as amostras, conforme Gráfico 4.

Gráfico 3 – Relação água cimento das argamassas



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Gráfico 4 – Índice de consistência das argamassas no estado fresco



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No ensaio de índice de consistência, inicialmente, foi calculado um volume de água maior que o necessário para as argamassas com substituição. Contudo, ao

iniciar a produção do material, observou-se um rápido aumento em sua trabalhabilidade. Diante desse cenário, adotou-se maior cautela ao adicionar água nas misturas A25 e A50, onde a A50 apresentou uma leve redução na relação água/cimento ao comparar com a A25. Ainda assim, a média do índice de consistência das argamassas final foi de 200 mm, que foi o admitido na pesquisa de Borges (2015), como uma trabalhabilidade adequada para uma argamassa de contrapiso. Semelhante ao estudo de Carvalho (2016), foi evidenciado que a quantidade de água aumenta de acordo com o resíduo cerâmico, mas não necessariamente é água livre, pois para a relação foi considerada a água absorvida na pré-molhagem.

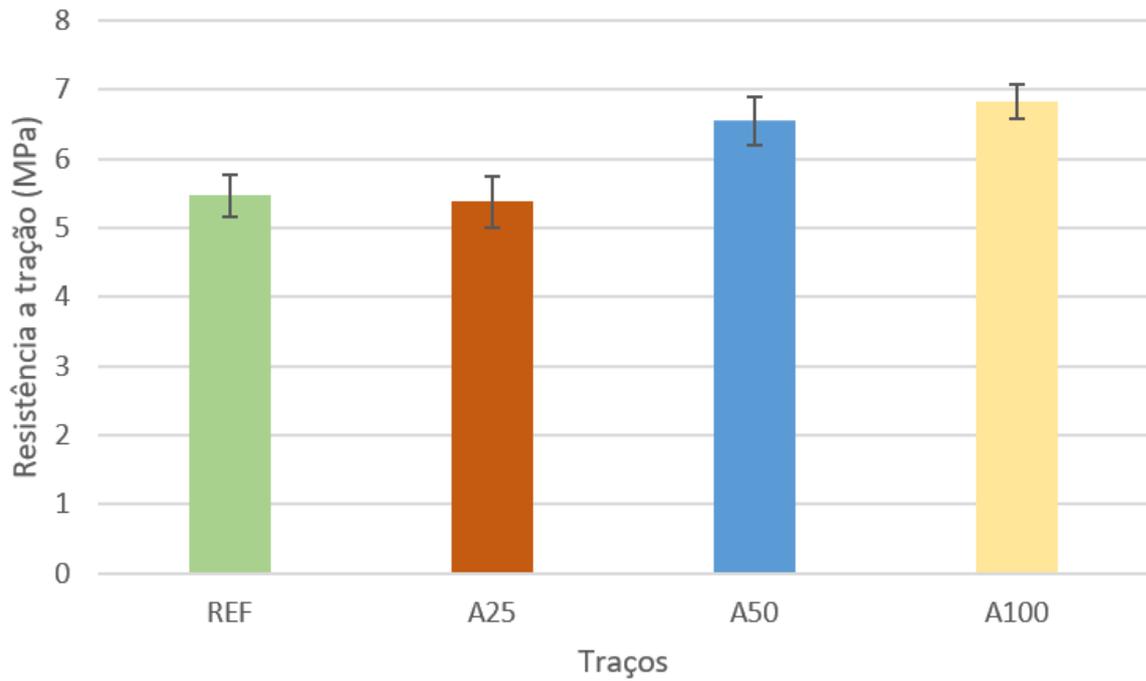
4.2 ENSAIOS DO ESTADO ENDURECIDO

Os resultados dos ensaios realizados no estado endurecido para as argamassas utilizadas nesta pesquisa estão expostos nesta seção.

4.2.1 Resistência à compressão e à tração na flexão

As argamassas A100 e A50 apresentaram resultados médios similares para a resistência à tração na flexão, enquanto as argamassas AREF e A25 apresentaram semelhança entre elas. Sendo a resistência média encontrada na argamassa A100 (6,83 MPa) e, a menor, na argamassa A25 (5,37 MPa), essa ainda muito próxima da AREF, conforme Gráfico 5.

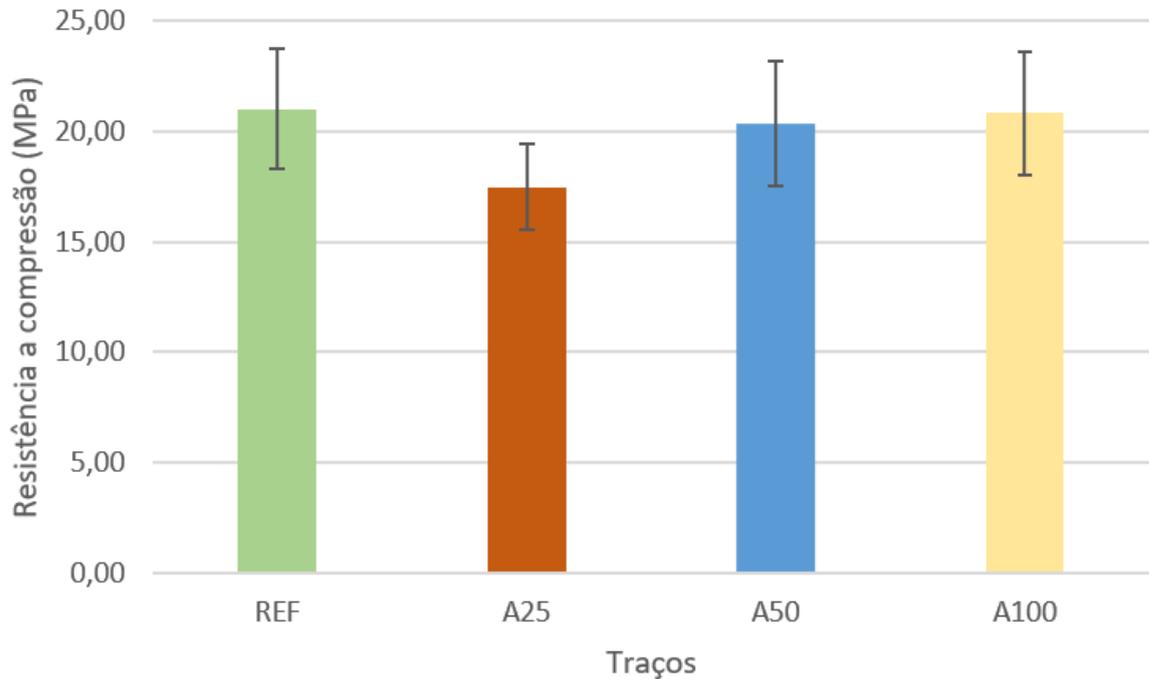
Gráfico 5 – Resistência à tração



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para a resistência da compressão, as argamassas apresentaram resultados similares à flexão, com os traços AREF e A100 mostrando resultados médios superiores, com exceção da resistência máxima sendo da argamassa A50 (21 MPa). Nesses ensaios, a argamassa A25 mostrou o pior resultado médio (17,48 MPa), igualmente ao ensaio de resistência mecânica à tração, conforme Gráfico 6.

Gráfico 6 – Resistência à compressão



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

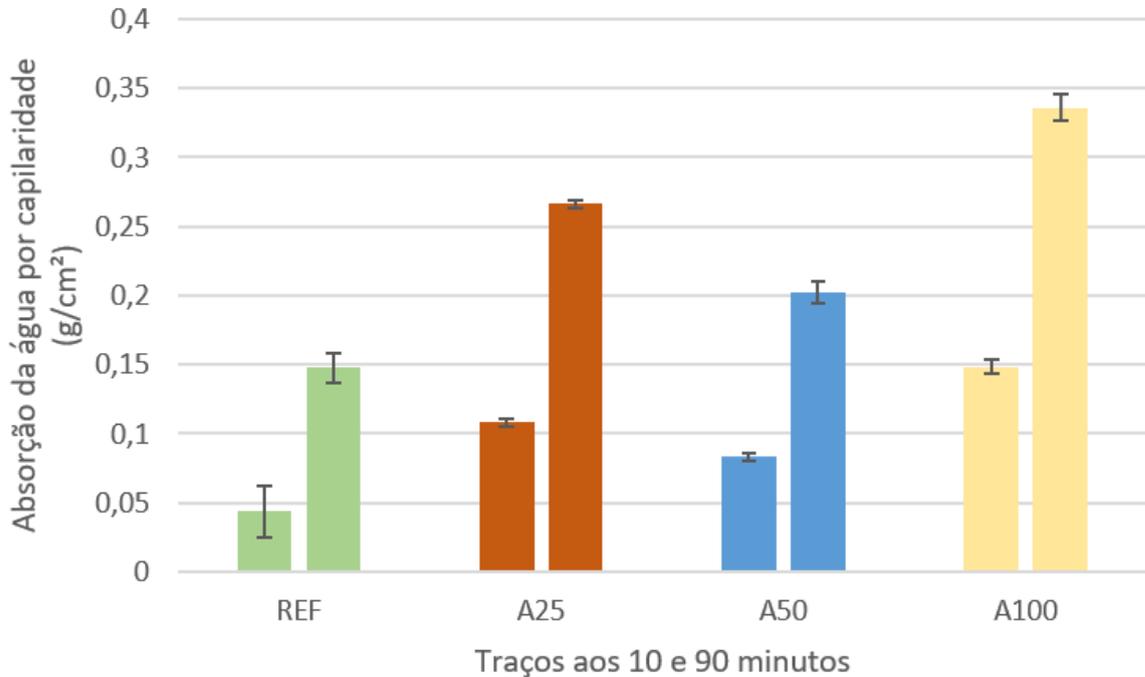
De acordo com Furtado *et al.* (2022), a viabilidade do aumento da resistência mecânica pela substituição de agregado natural por agregado reciclado já é uma realidade. Em sua pesquisa semelhante, a argamassa com substituição total demonstrou a melhor resistência à tração e compressão em comparação com aquelas que tinham substituições de 20% e 50%. Esses resultados indicam a ausência de perda de resistência, sugerindo que a utilização desse material em argamassas e concretos pode ser explorada mais profundamente. De acordo com Santos (2014), a resistência mencionada pode originar-se de uma cura suplementar resultante da introdução de um agregado não convencional. Isso levaria a um processo em que a água gradualmente proporciona uma cura em segundo plano, em função da absorção inicial de água realizada pelo agregado.

4.3 ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

A absorção por capilaridade nas argamassas revela que aquelas contendo resíduos reciclados apresentam uma absorção mais elevada. Em comparação com a argamassa de referência (AREF), todas as composições exibiram uma absorção superior. O Gráfico 7 exibe a absorção em dois intervalos de tempo, 10 minutos e 90

minutos, seguindo a norma NBR 15259 (ABNT, 2005).

Gráfico 7 – Absorção por capilaridade



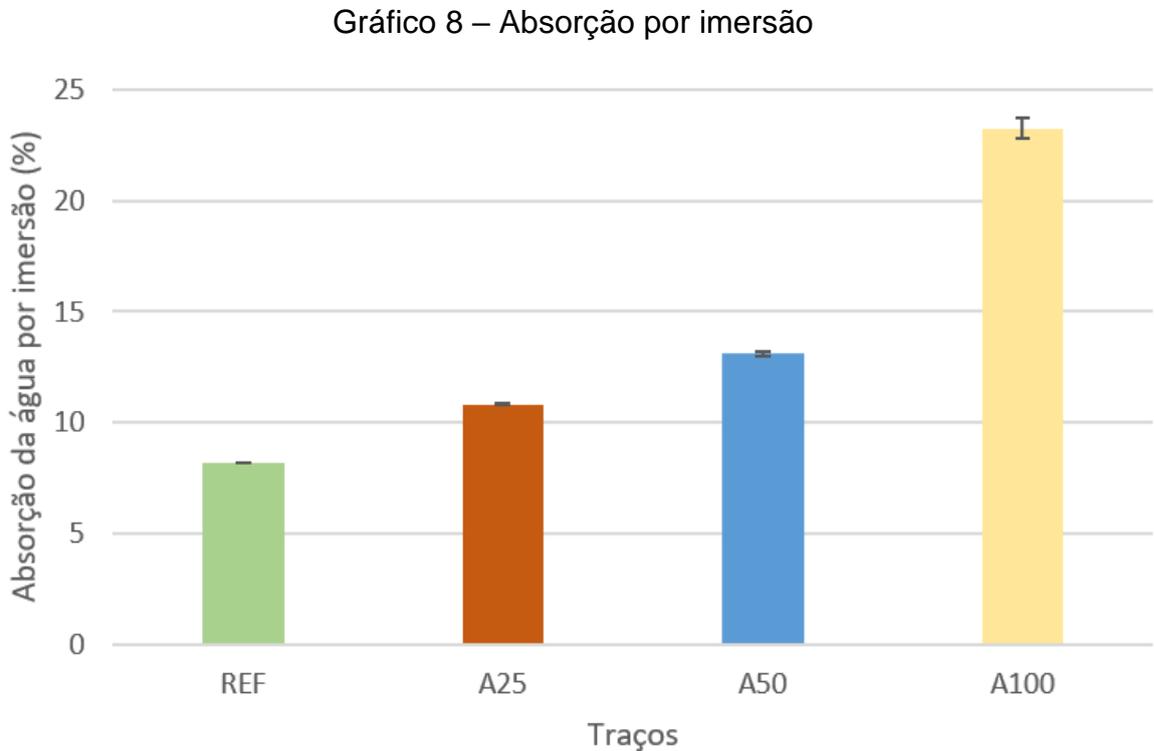
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Conforme indicado por Santana e Pereira (2020), é esperado que a absorção do material cerâmico (poroso) seja superior à do agregado natural quando ocorre essa substituição. Todas as argamassas que incorporaram substituições apresentaram uma absorção de água maior em comparação com a referência, destacando-se a argamassa A100, na qual o agregado é integralmente composto por material cerâmico. Essa absorção foi determinada durante a caracterização dos materiais, revelando que a capacidade de absorção do material reciclado é aproximadamente 60 vezes superior à do agregado natural. Cabe salientar que houve um comportamento não coerente, pois de acordo com os autores, quanto maior a substituição de agregados cerâmicos maior a absorção, isso não ocorreu no A50.

4.4 ABSORÇÃO POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

Os resultados da absorção por imersão indicam que a porcentagem de absorção evolui de acordo com a quantidade de resíduos cerâmicos, começando com

8,21% de absorção na argamassa de referência AREF e atingindo 23,26% na argamassa A100, conforme ilustrado no Gráfico 8.

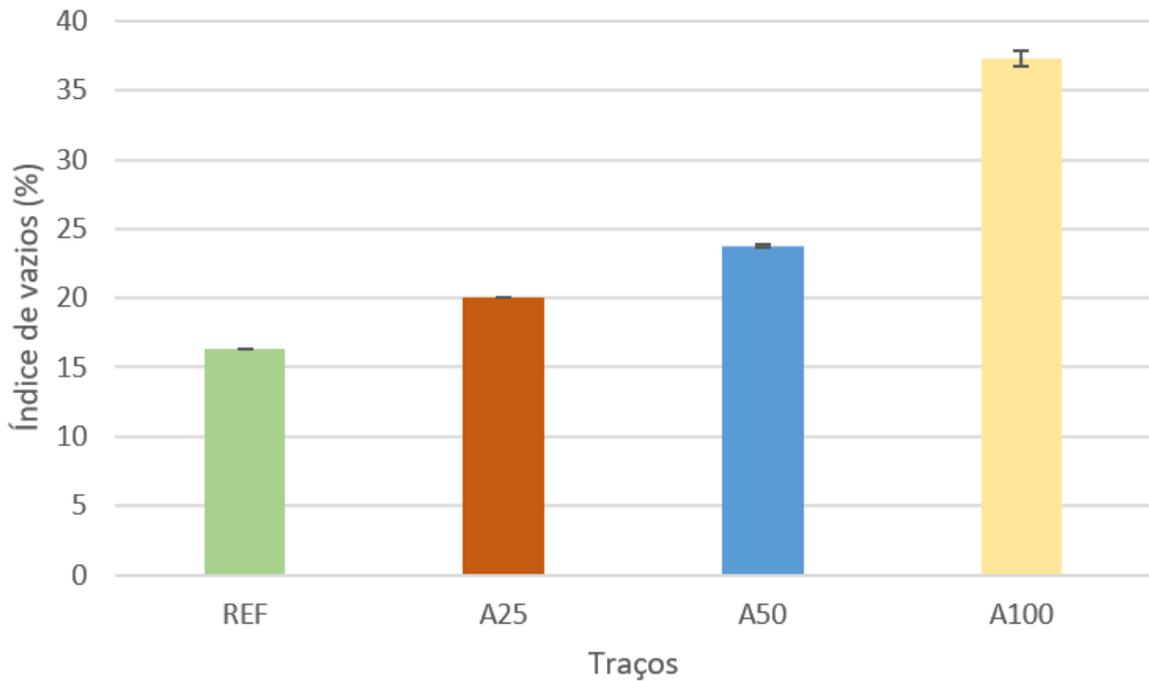


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Ao examinar os resultados, é evidente que à medida que a substituição do agregado miúdo natural pelo reciclado aumenta, a absorção também aumenta. Conforme observado por Passos, Junior e Gomes (2019), as argamassas com resíduo de cerâmica vermelha tornam-se mais porosas, resultando em maior absorção de água.

Em relação ao índice de vazios, observou-se que os valores aumentaram proporcionalmente ao teor do agregado cerâmico reciclado, indicando que a argamassa se torna mais porosa. Essa característica pode explicar os valores mais elevados de absorção por imersão, conforme representado no Gráfico 9.

Gráfico 9 – Índice de vazios

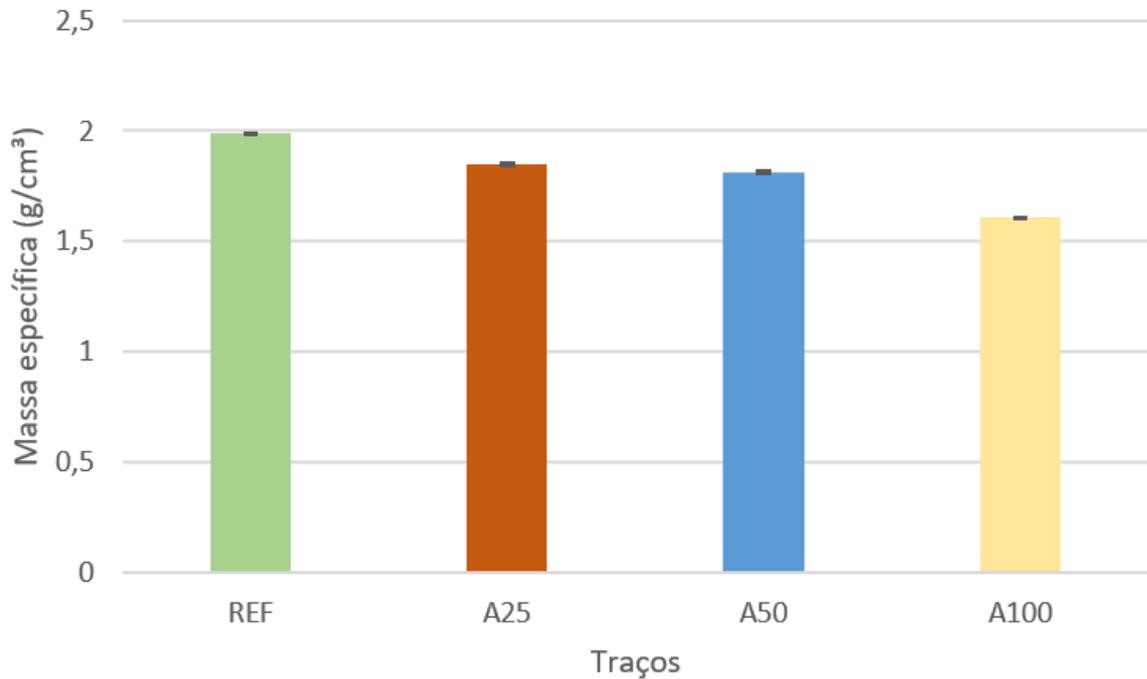


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Assim como observado na pesquisa de Passos, Junior e Gomes (2019), as argamassas apresentaram um aumento progressivo na taxa de vazios em função dos níveis de substituição. Isso indica que o resíduo cerâmico desempenhou um papel importante na obtenção de uma argamassa com maior índice de porosidade. Esse fenômeno está relacionado às características do material cerâmico em si, que apresenta uma elevada taxa de absorção de água, revelando-se, portanto, como um material com notável porosidade.

No que diz respeito à massa específica das argamassas, também é observável um padrão evolutivo em cada proporção de substituição. No entanto, neste caso, nota-se uma redução na massa específica em função do teor de substituição; quanto maior a substituição do agregado natural pelo cerâmico, menor a massa específica da argamassa. O Gráfico 10 apresenta os valores para cada argamassa testada.

Gráfico 10 – Massa específica



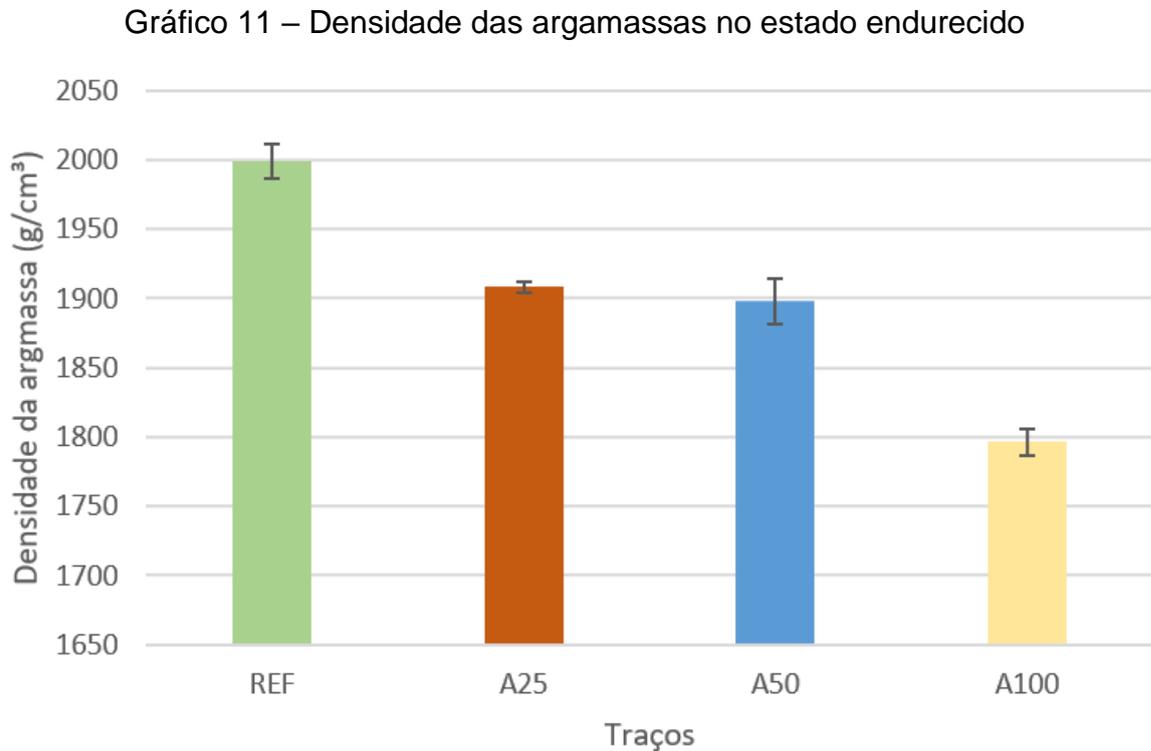
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Conforme analisado nos aspectos de absorção por imersão e índice de vazios, a propriedade da massa específica está intrinsecamente relacionada ao agregado cerâmico, sendo mais leve e poroso. Isso ocorre porque a quantidade de cimento utilizada para a preparação das argamassas permanece constante, enquanto as misturas com resíduos apresentam massas menores para a produção da mesma quantidade de corpos de prova. Isso comprova que o material total é, de fato, mais leve. Santana e Pereira (2020) já discutiam como uma prática a possibilidade de redução da massa específica em decorrência do aumento do teor de substituição do agregado natural pelo reciclado.

4.5 DENSIDADE DA ARGAMASSA

As densidades das argamassas demonstraram resultados positivos, conforme previsto pela literatura consultada. Em concordância com Furtado *et al.* (2022), observou-se uma redução nas densidades das argamassas contendo resíduos reciclados à medida que ocorria o aumento na substituição dos agregados. Esse fenômeno é viabilizado pela disparidade na massa específica dos materiais, sendo $2,60 \text{ g/cm}^3$ para o agregado natural e $1,62 \text{ g/cm}^3$ para o agregado reciclado, conforme

Gráfico 11.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A AREF apresentou a densidade mais elevada entre todas as argamassas testadas, atingindo o valor máximo de 1999 kg/m³, ao passo que a A100 exibiu a densidade mais baixa, registrando 1796 kg/m³, uma redução superior a 10%.

4.6 DESEMPENHO ACÚSTICO AO RUÍDO DE IMPACTO

Para a análise dos resultados obtidos nos ensaios, foi empregada a norma NBR 15575-3 (ABNT, 2021). Os critérios utilizados baseiam-se no Anexo E dessa norma, sendo aplicados a sistemas de piso que separam unidades habitacionais autônomas localizadas em pavimentos diferentes. Na Tabela 15, adaptada da normativa, é possível verificar os níveis aceitáveis para esse tipo de sistema.

Tabela 15 – Critérios adotados para desempenho acústico

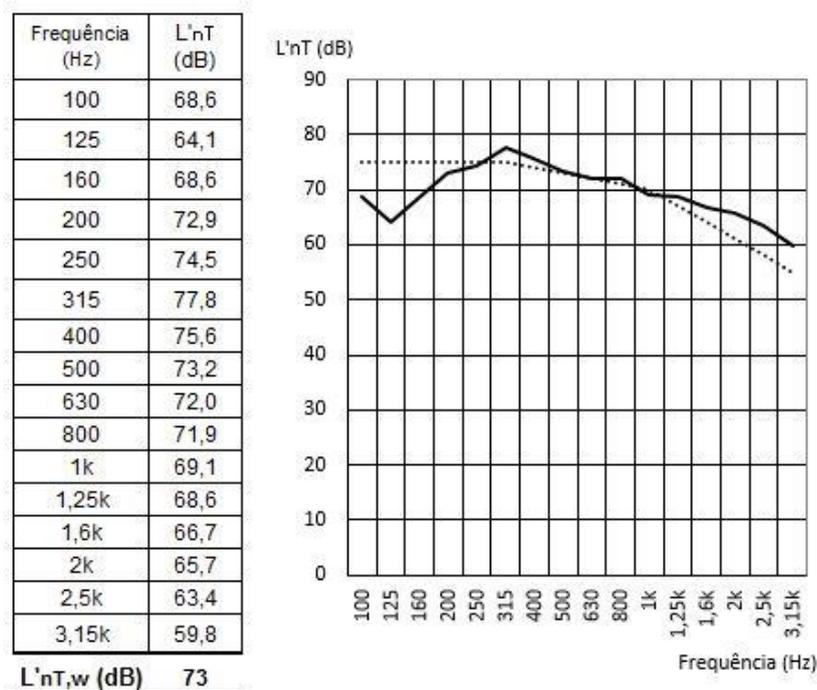
Elemento de separação	L'nT,w (dB)	Nível de desempenho
Sistema de piso de unidades habitacionais autônomas sobre dormitório	66 a 80	Mínimo
	56 a 65	Intermediário
	Abaixo de 55	Superior

Fonte: Adaptado da NBR 15575-3 (2021).

4.6.1 Resultados no sistema de argamassa de referência

O sistema AREF foi o primeiro sistema a ser ensaiando, e serviu como ponto de referência para o restante dos ensaios. A sua medição atingiu o nível de pressão sonora de impacto padrão de 77,8 dB no protótipo de espessura 25 mm, sendo classificada como nível de desempenho mínimo, cujo intervalo vai de 66 a 80 dB, conforme a norma NBR 15575-3 (ABNT, 2021). A Figura 16 ilustra os resultados das medições e a faixa de enquadramento conforme a norma.

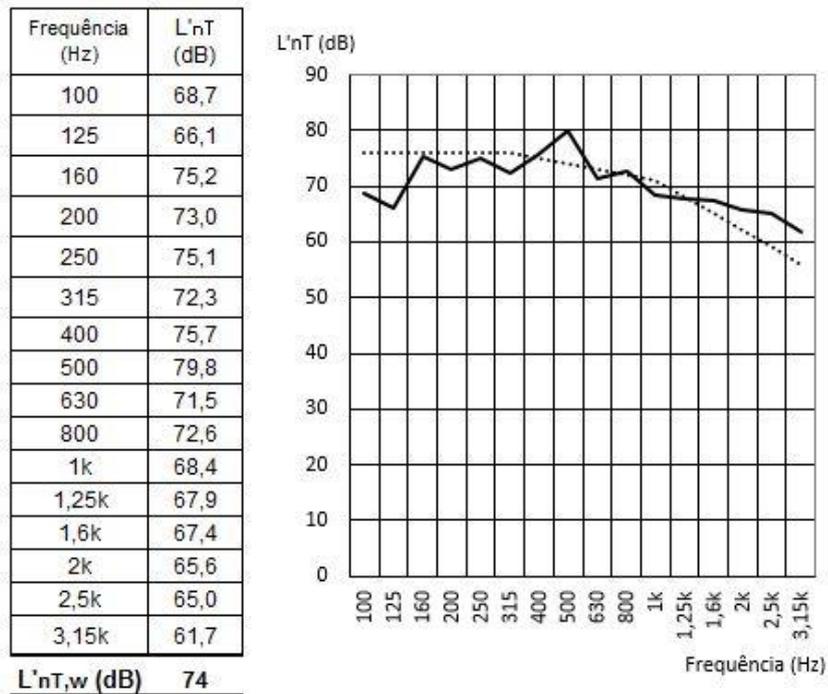
Figura 16 – L'nT,w do sistema AREF na espessura 25 mm



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Já no sistema AREF com espessura 35 mm, a medição atingida no nível de pressão sonora de impacto padrão foi de 79,8 dB no protótipo de espessura 35 mm, sendo também classificada como nível de desempenho mínimo. A Figura 17 ilustra os resultados das medições e a faixa de enquadramento conforme a norma.

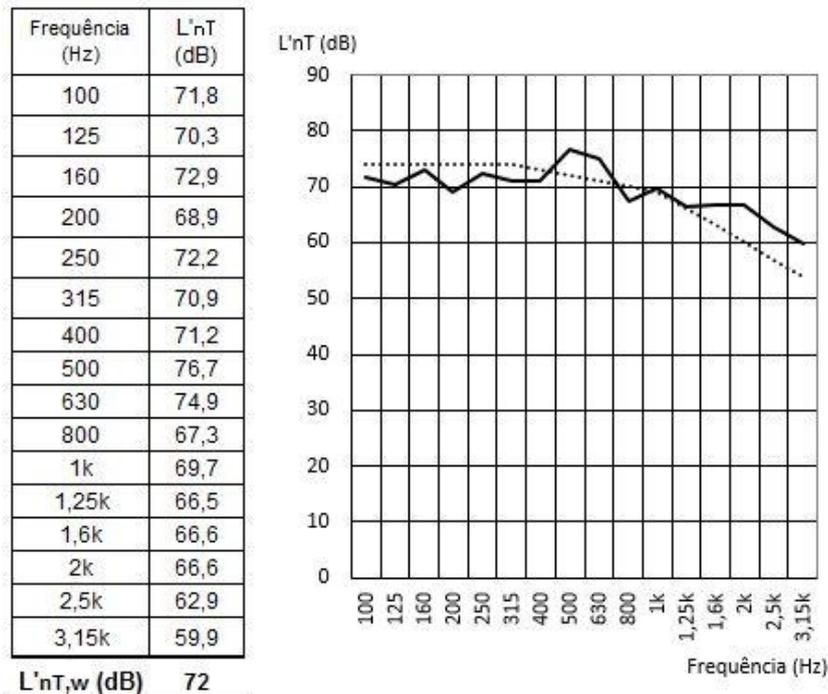
Figura 17 – $L'_{nT,w}$ do sistema AREF na espessura 35 mm



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O último protótipo do sistema AREF, com espessura 45 mm, atingiu, no nível de pressão sonora de impacto, padrão de 76,7 dB no protótipo de espessura 45 mm, sendo também classificada como nível de desempenho mínimo. A Figura 18 ilustra os resultados das medições e a faixa de enquadramento conforme a norma.

Figura 18 – $L'_{nT,w}$ do sistema AREF na espessura 45 mm



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

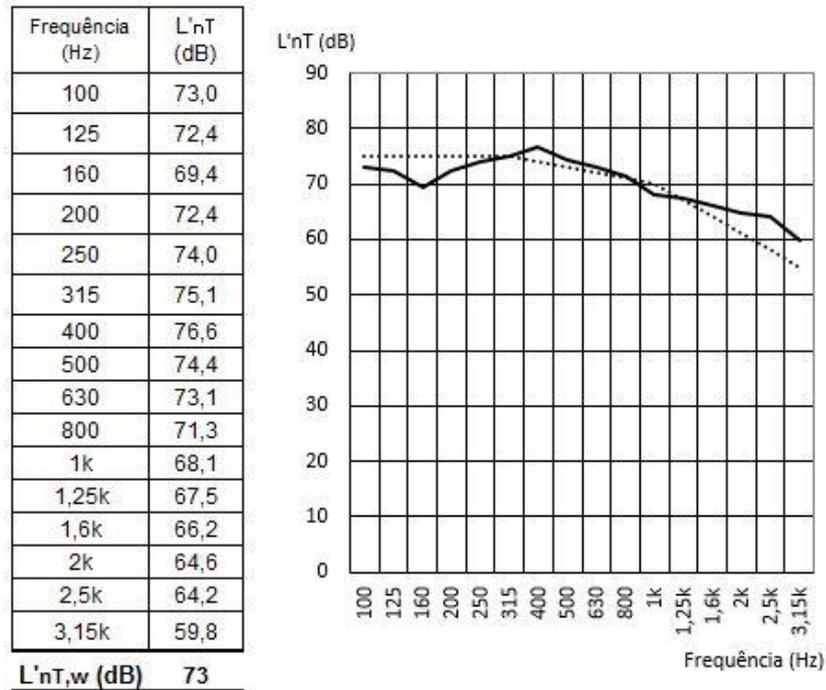
O sistema sem substituição de agregado, mostrou resultados elevados quanto à avaliação pelos critérios da norma de desempenho brasileira, mesmo assim, manteve-se dentro da faixa mínima aceitável. Essa conclusão é semelhante a Tutikian *et al.* (2017) principalmente nas bandas de frequência entre 160 e 315 Hz.

4.6.2 Resultados no sistema de argamassa com 25% de substituição de agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado

O sistema A25 foi o segundo sistema a ser ensaiado, e foi o primeiro sistema a apresentar resultados com substituição dos agregados. A sua medição atingiu o nível de pressão sonora de impacto padrão de 76,6 dB no protótipo de espessura 25 mm, sendo classificada como nível de desempenho mínimo, cujo intervalo vai de 66 a 80 dB conforme a norma NBR 15575-3 (ABNT, 2021). A Figura 19 ilustra os

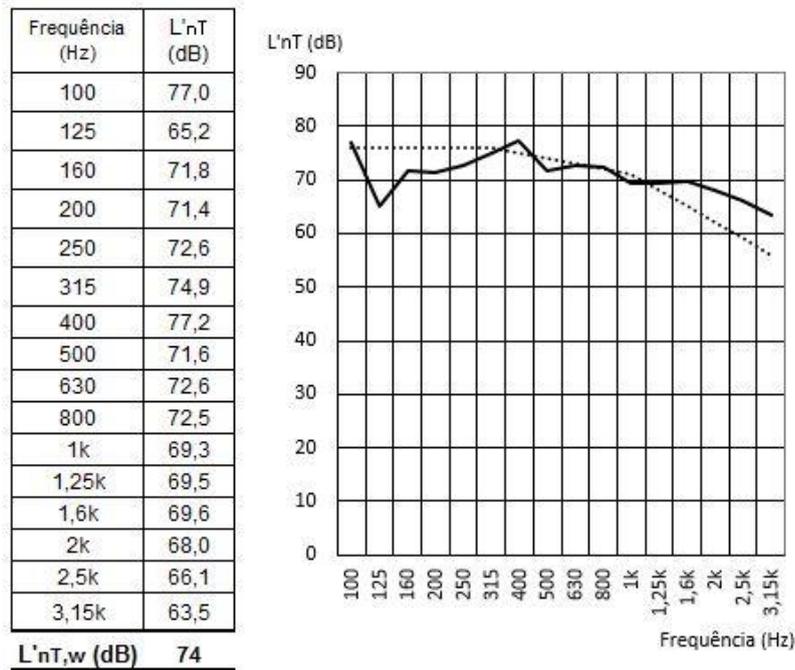
resultados das medições e a faixa de enquadramento conforme a norma.

Figura 19 – $L'_{nT,w}$ do sistema A25 na espessura 25 mm



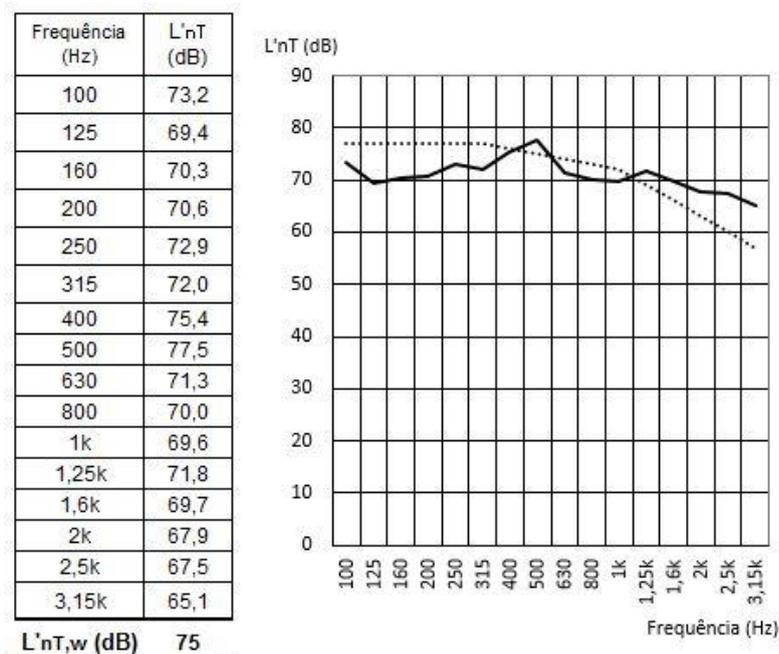
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No segundo protótipo do sistema A25 (espessura 35 mm), o nível de pressão sonora de impacto padrão foi de 77,2 dB no protótipo de espessura 35 mm, sendo também classificada como nível de desempenho mínimo. A Figura 20 ilustra os resultados das medições e a faixa de enquadramento conforme a norma.

Figura 20 – $L'_{nT,w}$ do sistema A25 na espessura 35 mm

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No terceiro protótipo do sistema A25, com espessura 45 mm, o nível de pressão sonora de impacto padrão foi de 77,5 dB no protótipo de espessura 45 mm. Sua classificação também foi definida como nível de desempenho mínimo. A Figura 21 ilustra os resultados das medições e a faixa de enquadramento conforme a norma.

Figura 21 – $L'_{nT,w}$ do sistema A25 na espessura 45 mm

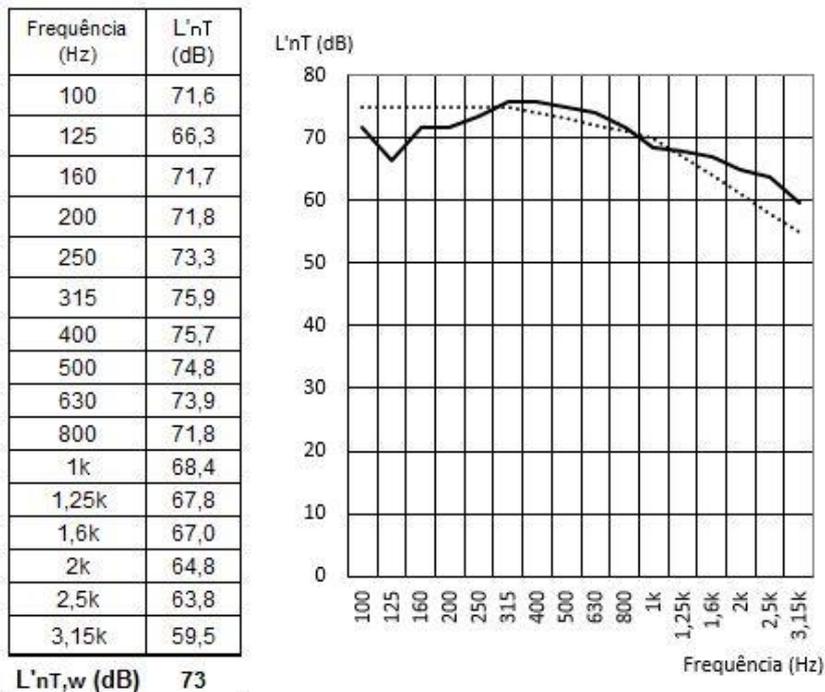
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O sistema de substituição A25, composto parcialmente por agregado reciclado, apresentou resultados abaixo do esperado quando comparados com os outros sistemas na condição de análise de desempenho acústico. Os resultados divergem de autores como Holmes; Browne e Montague (2014), onde a substituição parcial mostra um resultado superior a argamassa de referência.

4.6.3 Resultados no sistema de argamassa com 50% de substituição de agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado

O sistema A50 foi submetido ao terceiro ensaio e foi o segundo sistema a apresentar resultados com a substituição dos agregados. Sua medição registrou um nível de pressão sonora de impacto padrão de 75,9 dB no protótipo com espessura de 25 mm, sendo categorizado como nível de desempenho mínimo. Este intervalo é definido pela norma NBR 15575-3 (ABNT, 2021), variando de 66 a 80 dB. A Figura 22 oferece uma representação visual dos resultados das medições e da faixa de enquadramento conforme as especificações normativas.

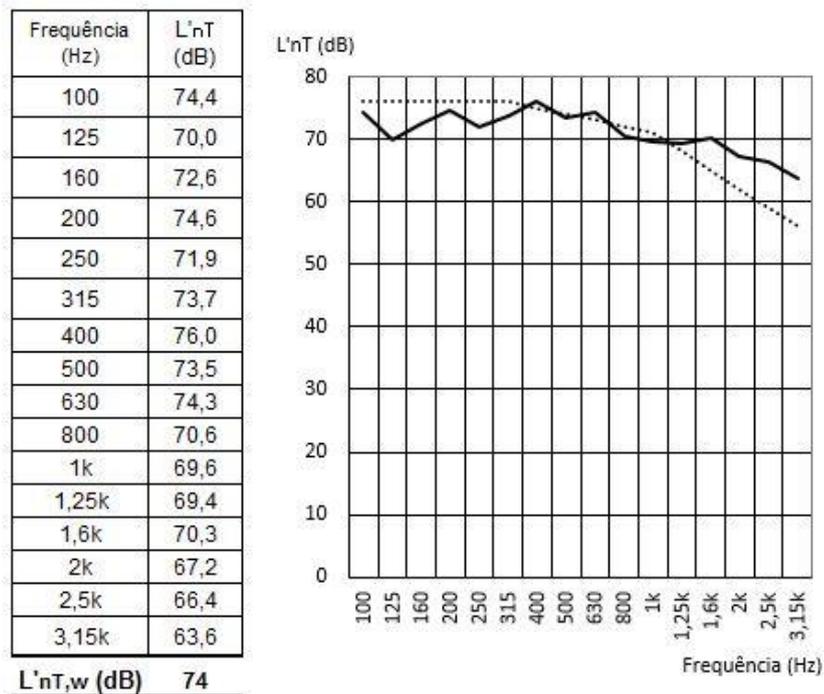
Figura 22 – $L'_{nT,w}$ do sistema A50 na espessura 25 mm



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No segundo protótipo do sistema A50, com uma espessura de 35 mm, o nível de pressão sonora de impacto padrão registrou 76 dB. A sua classificação também foi estabelecida como nível de desempenho mínimo, de acordo com as diretrizes normativas. A Figura 23 proporciona uma representação visual dos resultados das medições e da faixa de enquadramento conforme os critérios normativos.

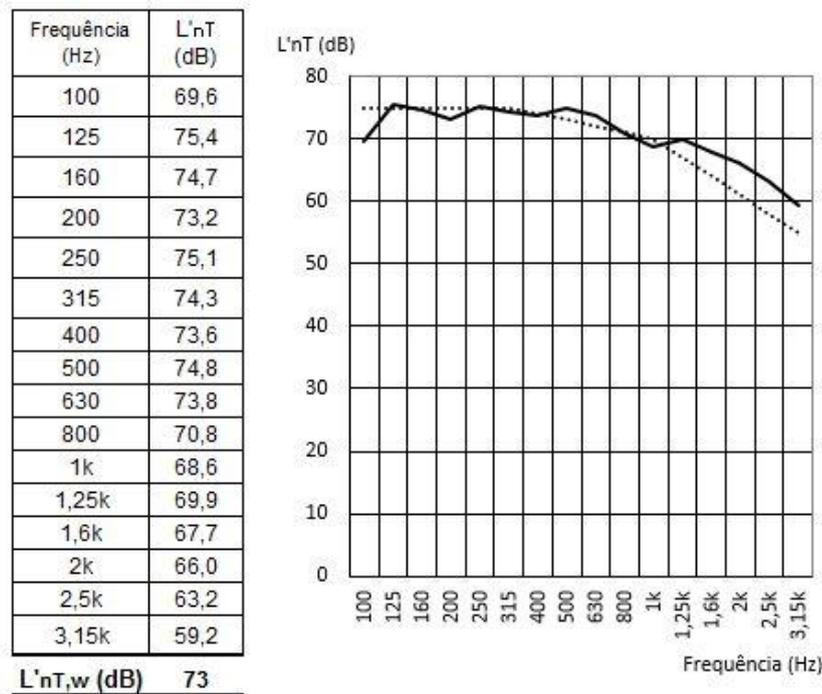
Figura 23 – $L'_{nT,w}$ do sistema A50 na espessura 35 mm



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No terceiro protótipo do sistema A50, apresentando uma espessura de 45 mm, o nível de pressão sonora de impacto padrão atingiu 75,4 dB. A sua classificação foi também determinada como nível de desempenho mínimo, conforme estabelecido pela norma. A Figura 24 visualiza os resultados das medições e a faixa de enquadramento de acordo com os critérios normativos.

Figura 24 – L'nT,w do sistema A50 na espessura 45 mm



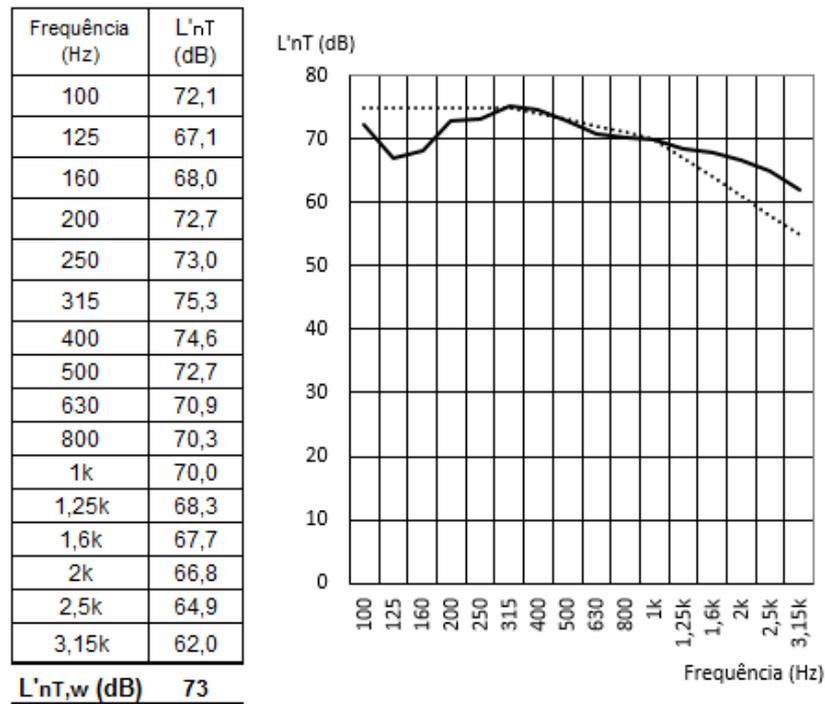
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Igualmente o sistema A25, esse mostrou-se menos eficaz se comparado aos sistemas de referência e ao de substituição dos agregados. Mesmo com pouca diferença nos critérios da norma técnica, o sistema A50 se torna ineficaz tanto nos níveis sonoros de desempenho acústico quanto na sua produção, visto que a dosagem dos materiais é trabalhosa. Novamente, esses resultados se mostraram contrários a outros estudos como de Tutikian *et al.* (2017).

4.6.4 Resultados no sistema de argamassa com 100 % de substituição de agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado

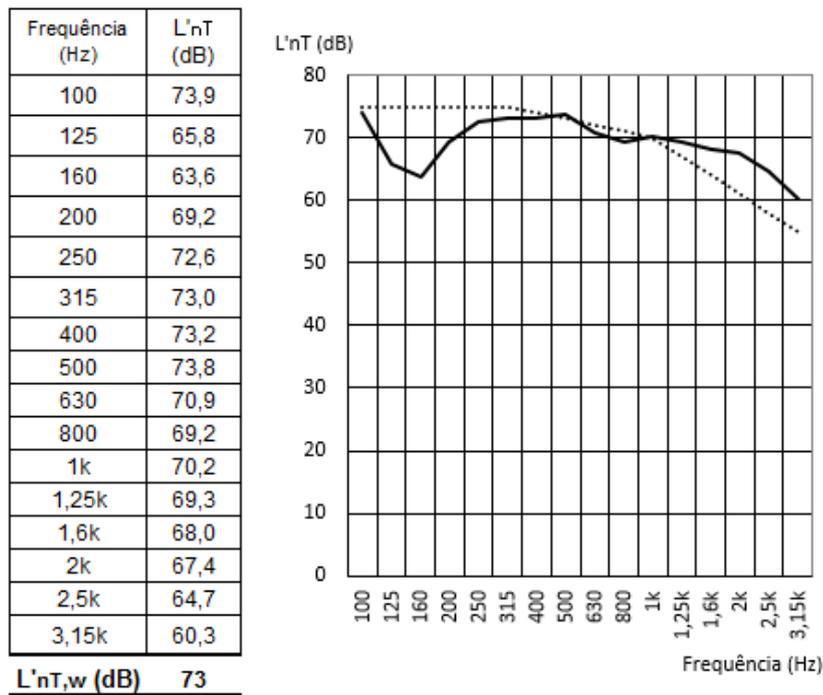
O sistema A100 foi submetido ao último ensaio e foi o único a adotar uma substituição total de agregado natural por agregado reciclado. Sua medição alcançou o nível de pressão sonora de impacto padrão de 75,3 dB no protótipo com espessura de 25 mm, sendo classificado como atendendo ao nível de desempenho mínimo. Este intervalo é estabelecido pela norma NBR 15575-3 (ABNT, 2021), variando de 66 a 80 dB. A Figura 25 apresenta visualmente os resultados das medições e a faixa de enquadramento conforme especificado pela norma.

Figura 25 – $L'_{nT,w}$ do sistema A100 na espessura 25 mm



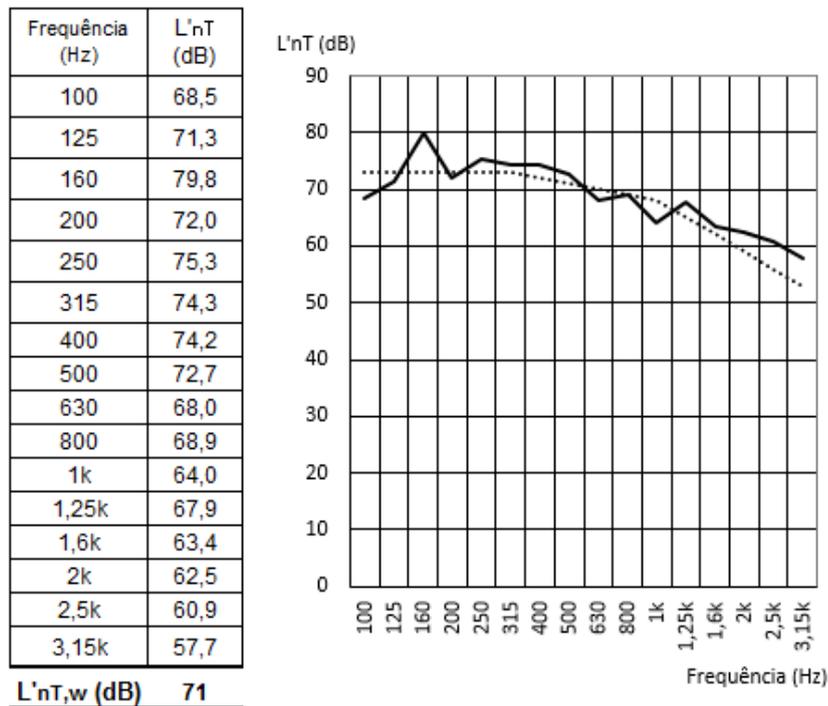
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No segundo protótipo do sistema A100, com uma espessura de 35 mm, o nível de pressão sonora de impacto padrão atingiu 73,9 dB, também sendo categorizado como nível de desempenho mínimo. A Figura 26 apresenta visualmente os resultados das medições e a faixa de enquadramento conforme estabelecido pela norma.

Figura 26 – $L'_{nT,w}$ do sistema A100 na espessura 35 mm

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No terceiro protótipo do sistema A100, apresentando uma espessura de 45 mm, o nível de pressão sonora de impacto padrão registrou 75,3 dB. A classificação obtida também foi designada como nível de desempenho mínimo, conforme estipulado pela norma. A Figura 27 visualiza os resultados das medições e a faixa de enquadramento de acordo com os critérios normativos.

Figura 27 – $L'_{nT,w}$ do sistema A100 na espessura 45 mm

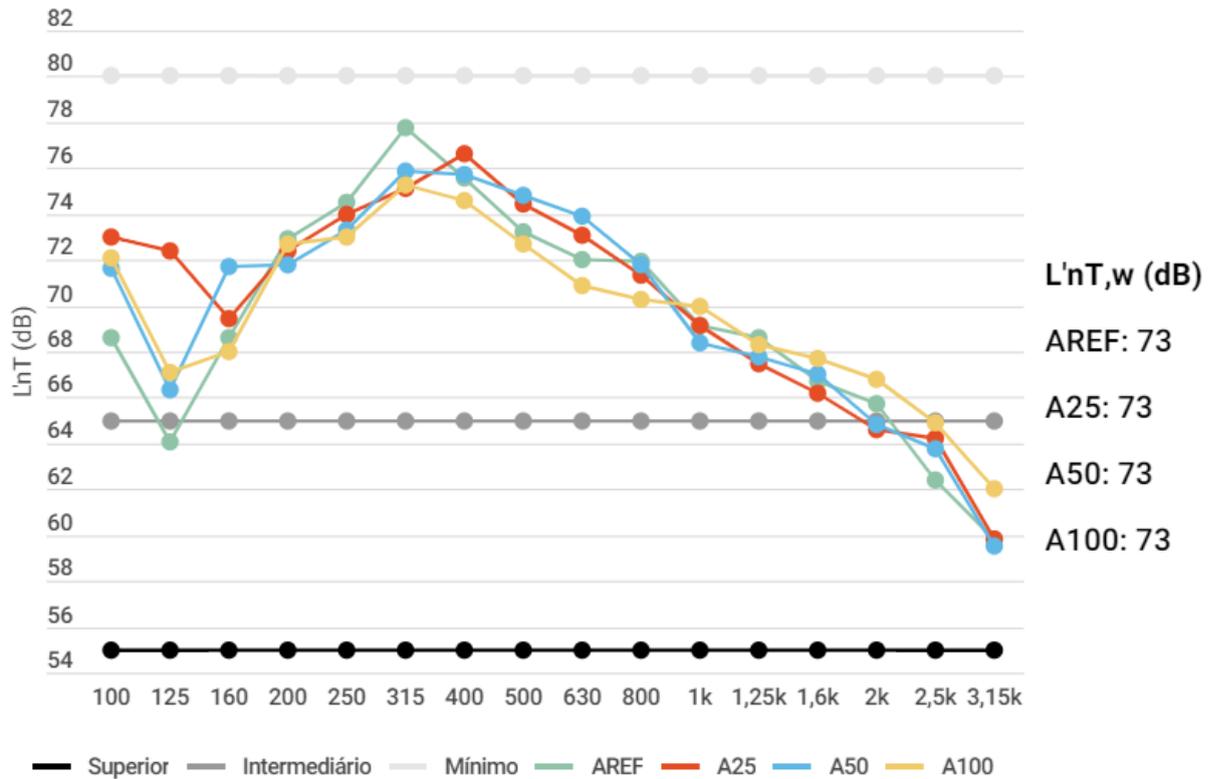
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O sistema A100, composto por substituição total de agregado miúdo natural por agregado reciclado, apresentou resultados elevados quanto à avaliação pelos critérios da norma de desempenho brasileira, entretanto manteve-se dentro classificação mínima de desempenho acústico quanto a norma NBR 15575-3 (ABNT, 2021). Esse estudo encaixa com as respostas encontradas por Tutikian *et al.* (2017), onde a substituição total de agregados mostrou um resultado superior quando comparadas com as argamassas de referência e substituições parciais.

4.6.5 Avaliação global dos sistemas de contrapisos

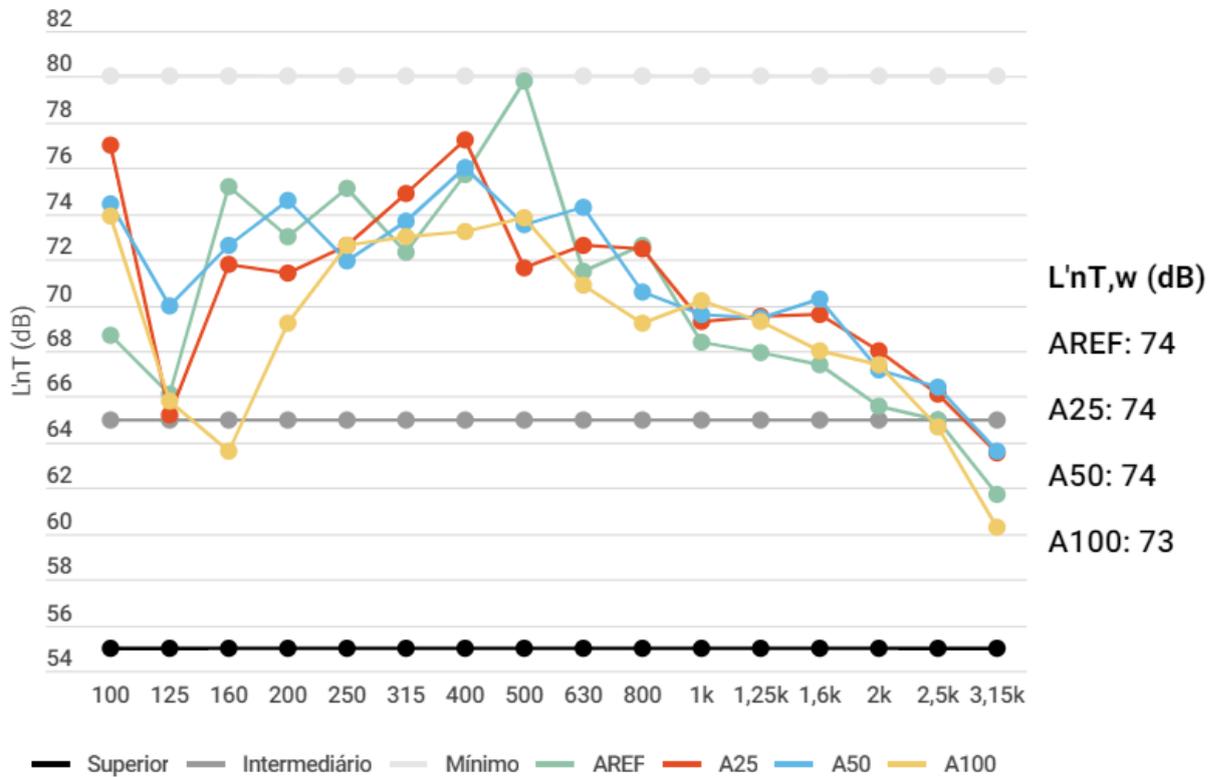
Ao compararmos os protótipos com espessura de 25 mm (Gráfico 12), podemos observar que o sistema AREF demonstra um desempenho menos favorável, ao passo que os sistemas A50 e A100 apresentam padrões semelhantes. Contudo, uma análise mais aprofundada dos dados e dos níveis de pressão sonora revela que o sistema com 100% de substituição apresenta um desempenho superior. Quanto as medidas $L'_{nT,w}$, todas as argamassas apresentaram resultados equivalentes, dentro do desempenho mínimo classificado pela norma.

Gráfico 12 – Comparativo entre diferentes sistemas na espessura 25 mm



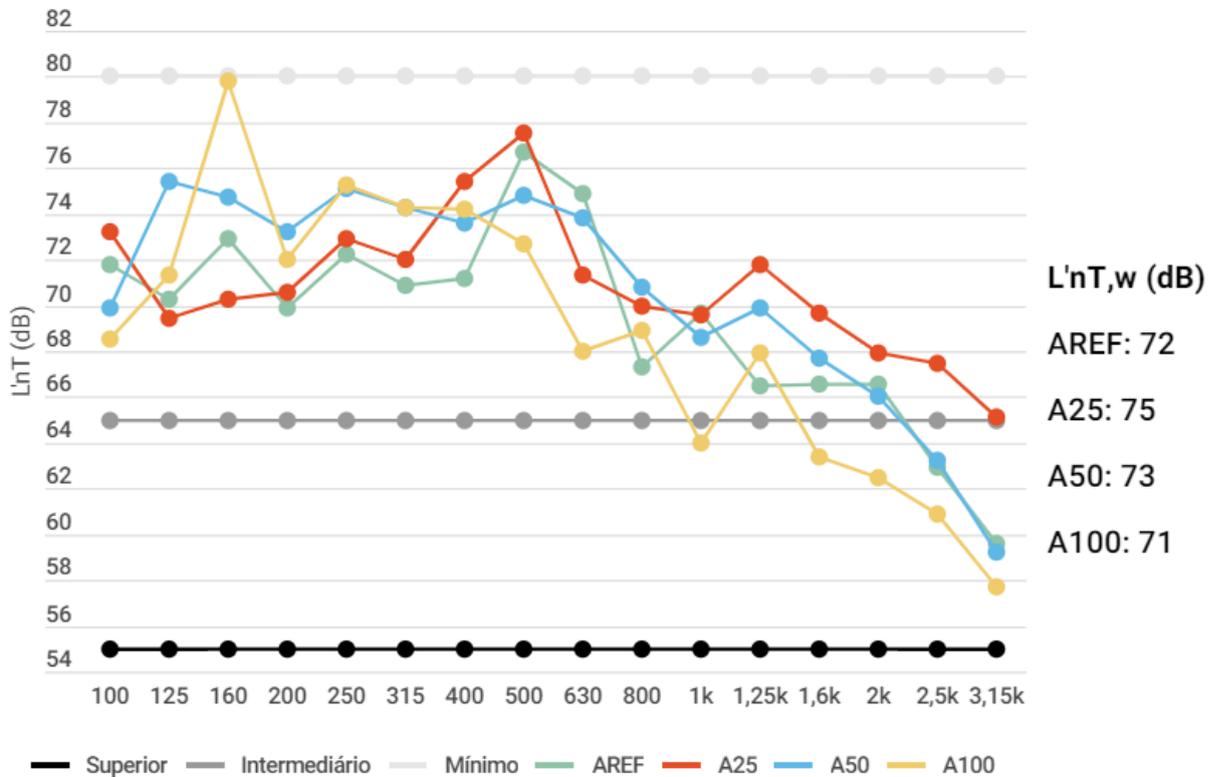
Na espessura de 35 mm, o sistema A100 demonstrou um desempenho superior em comparação com os outros sistemas, destacando-se ainda mais em relação aos protótipos com espessura de 25 mm. Novamente o L'nT,w dos protótipos nessa espessura estão classificados no limite mínimo da norma. Essa melhoria pode ser atribuída ao aumento do desempenho associado à espessura do sistema, conforme Gráfico 13.

Gráfico 13 – Comparativo entre diferentes sistemas na espessura 35 mm



Nos protótipos com 45 mm de espessura, mais uma vez, o sistema A100 demonstrou maior eficiência. No entanto, notou-se uma variação peculiar na marca de 160 Hz, levando os níveis de pressão sonora quase até o limite aceitável conforme estabelecido pela norma. É relevante destacar que, em todas as espessuras testadas, o sistema AREF superou os sistemas A25 e A50, mantendo uma consistente trajetória de desempenho, em que o A100 apresentou os melhores resultados, seguido pelo AREF, enquanto A25 e A50 demonstraram resultados praticamente similares, conforme Gráfico 14.

Gráfico 14 – Comparativo entre diferentes sistemas na espessura 45 mm



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No estudo de Remorini (2018), é destacado que a inclusão de materiais com alta porosidade em paredes e pisos ou em outros elementos estruturais, tem o potencial de ampliar significativamente a capacidade de absorção sonora. Isso resulta na redução dos níveis de transmissão sonora, contribuindo para aprimorar o isolamento acústico de um piso em até 6 dB.

O sistema AREF, designado como sistema de referência deste estudo, é amplamente utilizado em edificações devido à disponibilidade de materiais acessíveis e de custo efetivo, além de atender aos critérios mínimos estabelecidos pela norma de desempenho, situando-se na faixa de 66 a 80 dB. Os sistemas A25 e A50 exibem resultados inferiores quando comparados ao AREF, evidenciando uma diminuição nos níveis sonoros e uma complexidade maior na dosagem durante a produção. Apesar disso, seus resultados mostraram-se aceitáveis dentro das diretrizes normativas, enquadrando-se no nível de desempenho acústico mínimo. Por outro lado, o sistema A100 destacou-se como o protótipo de melhor desempenho acústico para ruído de impacto em todas as espessuras estudadas. Contudo, não foi suficiente para atingir uma classificação intermediária ou superior nos critérios de desempenho acústico

estabelecidos pela norma NBR 15575-3 (ABNT, 2021).

É crucial destacar que, devido à realização dos testes em um período de 21 dias, a variação nos resultados pode ser mais significativa. Recomenda-se, idealmente, realizar os testes após o período completo de cura de 28 dias das placas. A alteração na data dos testes foi uma medida necessária para garantir a conclusão da pesquisa dentro do prazo estipulado para a entrega do trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo atual realizou testes de desempenho acústico para ruídos de impacto em diferentes sistemas que substituem agregado natural por agregado reciclado, conforme especificado pela norma NBR ISO 16283-2 (ABNT, 2021). Após analisar sistemas com substituições de 0%, 25%, 50% e 100%, foi constatado que o protótipo de argamassa com substituição total do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo de resíduo cerâmico apresentou os resultados mais satisfatórios em termos de desempenho acústico.

Após examinar os materiais em seus estados fresco e endurecido, observou-se que a argamassa com substituição total apresentou os resultados mais favoráveis, seguida pela argamassa de referência (sem agregado reciclado). Ambas superaram os ensaios de índice de consistência e resistência mecânica em comparação com as misturas A25 e A50. No que diz respeito aos ensaios de absorção de água por imersão e capilaridade, os resultados aumentaram progressivamente com o aumento da substituição de agregados.

Foi observado que todos os sistemas testados atendem aos padrões de desempenho, embora alguns métodos tenham se destacado positivamente em relação a outros. Após realizar ensaios de desempenho acústico conforme a norma, notou-se que os protótipos com maior espessura apresentaram resultados superiores, conforme previsto. Em relação à substituição de agregados, os protótipos de argamassa de referência e argamassa com substituição total mostraram-se mais eficazes do que os de substituição parcial (A25 e A50).

Dessa forma, pode-se concluir que a argamassa de contrapiso ideal, identificado nesta pesquisa, é aquela com substituição total de agregado natural por agregado reciclado cerâmico, com uma espessura de 45 mm. Esse resultado é vantajoso, facilitando a execução do projeto sem a necessidade de dosagem de diferentes tipos de agregados. Além disso, sua aplicação é simples e não apresenta desafios relacionados à disponibilidade de materiais, uma vez que o agregado reciclado é comumente encontrado em obras de construção civil, não sendo amplamente utilizado após seu descarte.

Apesar de atenderem aos padrões de desempenho brasileiros, este estudo identificou oportunidades para pesquisas futuras. Recomenda-se a realização de estudos para avaliar o desempenho no ruído aéreo em estruturas com os mesmos

sistemas analisados, a condução de ensaios em diversas tipologias de lajes estruturais e a realização de testes acústicos com porcentagens mais elevadas de substituição (como 60%, 70% e 80%) para avaliar o desempenho acústico de ruídos de impacto e obter classificações superiores conforme a norma NBR 15575-3 (ABNT, 2021).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13753**: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento – SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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: ABNT, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 16283-2:2021**: Acústica – Medição do isolamento sonoro em edificações e de elementos de construção – Parte 2: Medição de desempenho acústico de elementos de construção em laboratório. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estrutura de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 16283-2**: Acústica – Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações. Parte 2: Isolamento a ruído aéreo. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

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

ABRECON. Associação brasileira para reciclagem de resíduos da construção civil e demolição. Entulho, [S. l.], 2021. Disponível em: <https://abrecon.org.br/entulho>. Acesso em: 8 jun. 2023.

ALMEIDA E SILVA, D.; DE MELO, C. E. L. Utilização de material cerâmico proveniente do RCD para aplicação em concreto:.. **Risco**, [s. l.], v. 19, 2021. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiK_8bdj9D_AhXuZUCHV16Cv4QFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.revistas.usp.br%2Frisco%2Farticle%2Fdownload%2F162069%2F169253%2F472129&usq=AOvVaw2uVyb8B9NnpHRpyGFtVmUG&opi=89978449. Acesso em: 7 jun. 2023.

ANACLETO, M. G. **Análise do desempenho mecânico e acústico de blocos vazados de concreto com adição de resíduos de estação de tratamento de água**. 138 f. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5123/1/desempenhomecanicoacusticoblocos.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2023.

BARROS, M. M. S. B. de. **Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais**. 283 f. 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1991. DOI 10.11606/D.3.2017.tde-05072017-103355. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-05072017-103355/pt-br.php>. Acesso em: 16 maio 2023.

BORGES, J. G. K. **Análise das propriedades acústicas de contrapisos produzidos com materiais reciclados**. 125 f. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2015.

BOTELHO, L. C. G.; DE SIQUEIRA, A. A. Estudo da produção e execução de argamassas de contrapiso. **Revista Matéria**, [s. l.], v. 27, ed. 02, 22 jun. 2021. DOI <https://doi.org/10.1590/S1517-707620220002.1384>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/WgVmhrFNbKDDjTfd3XhrCJt/?lang=pt>. Acesso em: 17 maio 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 1 jun. 2023.

CARASEK, H. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia**

de materiais. Argamassas, [s. l.], 12 out. 2010. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/carasek-argamassas-ibraconpdf-pdf-free.html>. Acesso em: 1 jun. 2023.

CAVALHO, Carlos Mavíael De. **Caraterização de resíduos da indústria cerâmica e seu emprego de argamassas de cimento Portland.** 2016. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal da Paraíba, 2016.

CASTRO, V. G. Cimento Portland. *In: Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o Futuro* [online]. Mossoró: **EdUFERSA**, 2021, p. 13-21. ISBN: 978-65-87108-26-1.

CONAMA. **Decreto nº 307, de 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. [S. l.], 5 jul. 2002. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2002_Res_CONAMA_307.pdf. Acesso em: 7 jun. 2023.

CUENCA-MOYANO, G.M., MARTÍN-PASCUAL, J., MARTÍN-MORALES, M., et al., **Effects of water to cement ratio, recycled fine aggregate and air entraining/plasticizer admixture on masonry mortar properties.** <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116929>. Construction and Building Materials, v. 230, p. 116929, 2020.

DE LACERDA, A. B. M. *et al.* Ambiente Urbano e Percepção da Poluição Sonora. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. 8, ed. 2, 21 jun. 2005. DOI <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2005000200005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/KKRbk6V8mFqfqNkChqmPWYJ/>. Acesso em: 14 jun. 2023

DUBAJ, E. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre.** 115 f. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2442/000319569.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

FABRO, F. *et al.* Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, [s. l.], v. 4, ed. 2, p. 191-212, 10 jun. 2011. DOI <https://doi.org/10.1590/S1983-41952011000200004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/PhgGy3shqJsp4rFqjDwKbSJ/?lang=pt>. Acesso em: 22 jun. 2023.

FILHO, J. A. P *et al.* Gerenciamento dos resíduos de construção nas obras de um edifício comercial na cidade de São Paulo. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 7, ed. 04, p. 91-107, 12 jan. 2016. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/11624>. Acesso em: 15 maio 2023.

FURTADO, G. B. *et al.* Influência da Substituição do Agregado Miúdo Natural por Resíduo Cerâmico na Produção de Argamassas. **Revista Internacional de Ciências**, [S. l.], p. 213-230, 14 set. 2022. DOI 10.12957/ric.2022.65408. Disponível em:

<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/view/65408/44148>. Acesso em: 15 maio 2023.

HOLMES, N.; BROWNE, A.; MONTAGUE, C. Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 73, p. 195-204, 30 dez. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061814011234>. Acesso em: 9 jun. 2023.

ITAMBÉ, C. Cimento Portland composto com fíler | Cimento Itambé. Itambé, Curitiba, [2023]. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/produtos/cp-ii-f-40/>. Acesso em: 29 nov. 2023.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 290 f. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/21839>. Acesso em: 6 jun. 2023.

MALTA, J. O.; SILVA, V. S.; GONÇALVES, J. P. Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, [s. l.], v. 1, ed. 2, p. 176-188, 13 nov. 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7214/6417>. Acesso em: 29 jun. 2023.

MINDESS, S.; YOUNG, J. F.; DARWIN, D. **Concrete**. 2. ed. [S. l.: s. n.], 2002. ISBN 0130646326. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/concrete-2nd-edition-pdf-free.html>. Acesso em: 1 jun. 2023.

NONES, C. Análise do conforto acústico de uma edificação multifamiliar. **Anais do XIII Encontro de Iniciação Científica da UNI7**, [s. l.], v. 7, ed. 1, 5 mar. 2018. Disponível em: <https://periodicos.uni7.edu.br/index.php/iniciacao-cientifica/article/view/421>. Acesso em: 12 jun. 2023.

OLIVEIRA, E. M. de. Análise da resistência à compressão e tração de argamassa com adição de resíduo de cerâmica vermelha. **Revista Matéria**, [s. l.], v. 24, ed. 02, 11 mar. 2019. DOI 10.1590/S1517-707620190002.0683. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/issue/view/1317>. Acesso em: 15 maio 2023.

PADOVAN, R. G. **Influência da pré-molhagem nas propriedades de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto**. 161 f. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2013.

PASSOS, L.; MORENO, A. L.; SOUZA, A. A. A. Concreto leve com agregado graúdo proveniente de resíduo cerâmico sob elevadas temperaturas. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, [s. l.], v. 13, p. 433-454, 1 jun. 2020. DOI <https://doi.org/10.1590/S1983-41952020000200012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/MR4pwyB8Hn9xxsdV7NQLbDn/?lang=en>. Acesso em: 6 jun. 2023

PASSOS, L.; JUNIOR, A. L. M.; GOMES, C. E. M. Durabilidade de concretos produzidos com agregado graúdo proveniente de resíduo de cerâmica vermelha. **Revista Matéria**, [s. l.], v. 25, ed. 2, 1 jul. 2019. DOI <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200002.1076>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/s5BHRrJf6XVQHFSgCV9cMnK#:~:text=Para%20os%20concretos%20com%20emprego,de%2063%20a%20180%20dias>. Acesso em: 7 jun. 2023.

REMORINI, Silvana Laiz. **Acústica arquitetônica**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

SANTANA, T. da S.; PEREIRA, C. H. de A. F. Avaliação da influência da utilização de agregado miúdo reciclado em argamassas estabilizadas. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 20, n. 3, p. 305-318, 7 jul. 2020. DOI <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300430>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/gX3VcX6bRtHJZRjbJbGRq5R/?lang=pt>. Acesso em: 16 maio 2023.

SANTOS, D. V.; CABRAL, A. E. B. Análise técnica da reciclagem de resíduos de construção em canteiro de obras. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 20, n. 3, p. 363-383, 7 jul. 2020. DOI <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300434>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/WwvypM8JqHNMXRBDSVJd5dS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 maio 2023.

SANTOS, White José dos, D.Sc. **Desenvolvimento de metodologia de dosagem de argamassas de revestimento e assentamento**. Universidade Federal de Viçosa. Novembro de 2014.

SINAPI (Fichas de Especificações Técnicas). **Cadernos Técnicos de Contrapiso**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 8 jun. 2023.

TUTIKIAN, B. F.; ZUCHETTO, A. L. K.; SOUZA, R. P. de; OLIVEIRA, M. F. N. de. Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 17, ed. 3, p. 295-306, 19 dez. 2017. DOI <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000300177>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/r6D4Q4q6hBbJrrv7bMJPYYs/?lang=pt>. Acesso em: 15 maio 2023.

ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS BLOCOS USADOS COMO RESÍDUOS NOS ENSAIOS

Determinação da planeza das faces, desvio em relação ao esquadro, espessura das paredes e dos septos de blocos cerâmicos

Posição do ensaio: Cutelo

CP	Desvio em relação ao esquadro (mm)	Planeza das faces (mm)	Espesura da parede externa (mm)	Espessura dos septos (mm)
1	1	1	8	7
2	2	1	9	6
3	2	1	9	7
4	1	1	9	7
5	2	0	8	7
6	1	1	7	7
7	1	0	8	7
8	1	1	9	7
9	2	1	8	7
10	1	1	8	6
11	2	1	10	7
12	1	1	9	6
13	3	1	9	7
Incerteza expandida U	0,4	0,2	0,4	0,2

DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA E DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA EM BLOCOS CERÂMICOS

CP	Massa Seca (g)	Índice de absorção de água (%)
14	6601	16
15	6580	17
16	6610	17
17	6575	17
18	6583	17
19	6526	17
Incerteza expandida U	32,0	0,7

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM BLOCOS DE VEDAÇÃO

Posição do ensaio: Cutelo



CP	Largura média (mm)	Altura média (mm)	Comprimento médio (mm)	Resistência à compressão (Mpa)
1	189	191	288	2,4
2	190	191	291	2,0
3	189	191	291	2,0
4	189	190	290	1,9
5	189	190	290	2,2
6	190	191	290	2,1
7	189	191	290	1,9
8	188	189	289	2,0
9	190	190	289	2,5
10	190	189	291	1,7
11	189	191	289	2,3
12	190	191	290	1,7
13	189	190	290	1,4
Incerteza expandida U				0,2