

UNIGUAÇU – UNIÃO DE ENSINO SUPERIOR DO IGUAÇU LTDA.
FACULDADE UNIGUAÇU
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
Projeto Final de Curso II

ALINI FERNANDA BORDIGNON GESSINGER

**ANÁLISE DO DESEMPENHO MECÂNICO DE ARGAMASSA DE
REGULARIZAÇÃO DE CONTRAPISO CONVENCIONAL COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO
DE VIDRO**

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU
2025

ALINI FERNANDA BORDIGNON GESSINGER

**ANÁLISE DO DESEMPENHO MECÂNICO DE ARGAMASSA DE
REGULARIZAÇÃO DE CONTRAPISO CONVENCIONAL COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO
DE VIDRO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de bacharel em do Curso de Engenharia Civil da
Faculdade UNIGUAÇU.

Orientador(a): Prof. Me. Meire Claudia Barbosa.

Coorientador (a): Prof Me. Jaqueline Tomasini Orth

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela sabedoria, força e saúde, que me permitiram chegar até aqui.

Agradeço também à minha orientadora Prof. Me. Meire Claudia Barbosa, pela paciência, dedicação e pelas orientações valiosas ao longo do processo de pesquisa e a coorientadora Prof. Me. Jaqueline Tomasini Orth pelo incentivo.

Aos meus familiares, especialmente meu esposo Luiz Gustavo Gessinger pelo apoio, amor e compreensão durante esta jornada. Sem vocês, nada disso seria possível.

Aos meus amigos e colegas, pelo companheirismo, pelas trocas de ideias e pela motivação nos momentos mais desafiadores.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu muito obrigada!



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

RESUMO

A crescente preocupação com a sustentabilidade e o consumo excessivo de recursos naturais tem incentivado a busca por alternativas ambientalmente responsáveis na construção civil. Nesse contexto, o aproveitamento de resíduos sólidos, como o vidro moído, apresenta-se como uma possibilidade promissora para substituir parcialmente a areia natural na produção de argamassas. Este trabalho teve como objetivo analisar o desempenho físico-mecânico de argamassas de regularização de contrapiso convencional com a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de vidro. Para isso, foram preparados traços com diferentes proporções de substituição (0%, 10%, 20%, 40% e 80%) nos quais foram conduzidos testes de resistência à compressão, e os dados obtidos mostraram que a substituição da areia por vidro moído pode influenciar as propriedades físico-mecânicas das argamassas. No entanto, em diversas proporções analisadas, especialmente em 80%, a alteração não comprometeu a viabilidade técnica do material, revelando-se uma alternativa viável para aplicações menos estruturais, como revestimentos e contrapisos. O estudo reforça o papel fundamental da inovação no reaproveitamento de resíduos na construção civil e evidencia o potencial do vidro reciclado como substituto parcial da areia. Recomenda-se, portanto, a continuidade de pesquisas voltadas à otimização das formulações, à análise de desempenho em larga escala e à avaliação de aspectos econômicos e ambientais da aplicação em contextos reais da indústria.

Palavras-chave: Reutilização, reciclar, argamassa sustentável, resistência mecânica



ABSTRACT

The growing concern with sustainability and the excessive consumption of natural resources has encouraged the search for environmentally responsible alternatives in civil construction. In this context, the use of solid waste, such as ground glass, presents itself as a promising possibility to partially replace natural sand in the production of mortars. This work aimed to analyze the physical-mechanical performance of conventional screed leveling mortars with the partial replacement of fine aggregate by glass waste. For this purpose, mixes with different replacement proportions (0%, 10%, 20%, 40% and 80%) were prepared, in which compression resistance tests were conducted, and the data obtained showed that the replacement of sand by ground glass can influence the physical-mechanical properties of the mortars. However, in several proportions analyzed, especially at 80%, the alteration did not compromise the technical viability of the material, proving to be a viable alternative for less structural applications, such as coatings and screeds. This study reinforces the fundamental role of innovation in the reuse of construction waste and highlights the potential of recycled glass as a partial substitute for sand. Therefore, it recommends continued research focused on optimizing formulations, analyzing large-scale performance, and evaluating the economic and environmental aspects of its application in real-world industrial contexts.

Keywords: Reuse, recycling, sustainable mortar, mechanical strength



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo genérico de um sistema de pisos e seus elementos.....	17
Figura 2 – Camadas das argamassas de revestimento.....	21
Figura 3 – Três alternativas para revestimento de paredes: (a) emboço, reboco e pintura, (b) camada única e pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).....	22
Figura 4 – Execução de contrapiso.....	23
Figura 5 – Assentamento dos pisos cerâmicos com argamassa plástica.....	24
Figura 6 – Classificação do módulo de finura.....	26
Figura 7 – Fluxograma: Preparação e caracterização das argamassas.....	31
Figura 8 – Frasco Le Chatelier com amostra, volume final.....	34
Figura 9 – Agregado Miúdo (areia).....	36
Figura 10 – Picnômetro.....	37
Figura 11 - Resíduo de vidro.....	39
Figura 12 – CP's desmoldados e identificados.....	41
Figura 13 – Rompimento do Corpo de Prova.....	42



LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica da areia.....	44
Gráfico 2 – Gráfico de Resistência média a compressão CPV – ARI.....	46
Gráfico 3 – Gráfico de Resistência média a compressão CPII F.....	48



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de cimento de acordo com as normas brasileiras.....	25
Quadro 2 – Caracterização dos materiais.....	32



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Agregado Miúdo.....	36
Tabela 2 – Traço da argamassa com substituição parcial de resíduo.....	40
Tabela 3 – Resultado ensaio compressão axial, argamassa com cimento CPV-ARI..	46
Tabela 4 – Resultado ensaio compressão axial CPII – F.....	47



LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABIVIDRO	Associação Brasileira das Indústrias de Vidro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CO ₂	Dióxido de carbono
CP	Cimento Portland
CP's	Corpos de Provas
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RDM	Revestimento Decorativo Monocamada



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 JUSTIFICATIVA	14
4 REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1 SISTEMAS DE PISOS	16
4.2 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA	17
4.2.1 Estado fresco	18
4.2.1.1 Trabalhabilidade, consistência e plasticidade	18
4.2.1.2 Retenção de água	19
4.2.2 Estado Endurecido	19
4.2.2.1 Resistência Mecânica	20
4.3 TIPOS DE ARGAMASSAS	20
4.3.1 Argamassa de Assentamento de Alvenaria	20
4.3.2 Argamassa de Revestimento	21
4.3.3 Argamassa de Contrapiso	23
4.4 MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA	25
4.4.1 Cimento Portland	25
4.4.2 Areia	27
4.4.3 Água	28
4.5 VIDRO	29
4.5.1 Vidro Como Resíduo Sólido	29
4.5.2 Pesquisas relacionadas a substituição parcial da areia pelo vidro como agregado miúdo	30
5 METODOLOGIA	32
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	32
5.2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS	33



5.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	33
5.3.1 Cimento.....	34
5.3.2 Massa específica.....	34
5.4 AGREGADOS	35
5.4.1 Agregado natural miúdo (areia).....	36
5.4.2 Resíduo de Vidro.....	38
5.5 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	39
5.5.1 Traço da Argamassa	39
5.5.2 Moldagem e Cura das Argamassas	40
5.5.3 Ensaio de Resistência a Compressão.....	41
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	43
6.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO	46
7 CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS.....	53



1 INTRODUÇÃO

Embora o setor da construção civil seja indispensável para o progresso social, ele se destaca pelo elevado consumo de recursos naturais e de energia. Diante desse desafio, a comunidade científica tem direcionado esforços para o desenvolvimento de materiais que integrem resíduos em sua composição, contribuindo para a mitigação das emissões de CO₂, a diminuição do volume de rejeitos destinados a aterros sanitários e para a redução da extração de matérias-primas (SANTOS *et al.*, 2024).

A crescente preocupação com os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de resíduos sólidos tem motivado a busca por soluções mais sustentáveis, especialmente no setor da construção civil (MORAIS, 2022).

Entre os materiais descartados em grande quantidade, o vidro se destaca pelas características de não degradabilidade, volume elevado de produção e alta densidade, comprometendo a vida útil de lixões, principalmente pelo seu uso massivo em embalagens, como garrafas e potes. O vidro é fabricado a partir de uma combinação de areia, calcário, barrilha e feldspato, aquecidos a temperaturas que podem ultrapassar os 1500°C, resultando em um material homogêneo, transparente e de grande durabilidade (MORAIS, 2022).

Diante desse revés o presente trabalho tem como objetivo investigar a viabilidade da utilização de resíduos de vidro, como substituto parcial da areia em argamassas de regularização de contrapiso. A pesquisa busca avaliar as propriedades mecânicas das argamassas, tanto no estado fresco quanto endurecido, a fim de verificar se o uso de vidro reciclado atende às exigências técnicas e normativas de desempenho do material. Assim, além de contribuir para a redução do descarte de vidro, a proposta visa gerar benefícios econômicos e ambientais para o setor da construção civil, oferecendo uma alternativa sustentável na produção de materiais de construção.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as propriedades mecânicas da argamassa de regularização de contrapiso, tanto no estado fresco quanto endurecido, considerando a incorporação de vidro moído como substituição parcial ao agregado miúdo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar o impacto da substituição parcial da areia, utilizada como agregado miúdo, por vidro moído na trabalhabilidade da argamassa de regularização de contrapiso.
- b) Avaliar a resistência mecânica de argamassas com adição de vidro como substituto da areia.



3 JUSTIFICATIVA

Atender à crescente demanda da construção civil sem comprometer a sustentabilidade ambiental exige a investigação de novas fontes renováveis e o aproveitamento de resíduos pouco explorados pela reciclagem, destacando-se o vidro como um material de grande potencial (ALVES *et al.*, 2022).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2024), os princípios dos 3R's consistem basicamente na redução, reutilização e reciclagem, sendo uma solução para minimizar os problemas relacionados ao descarte inadequado do vidro e para conscientização sobre o consumo sustentável, já que o vidro potencialmente pode ser 100% reciclável. Esses princípios são fundamentais para enfrentar os desafios do descarte inadequado de materiais, como o vidro, e para promover um futuro mais ecológico e responsável.

Embora seja possível a reutilização de 100% do vidro, esse potencial raramente é atingido, resultando frequentemente na geração de resíduos sólidos. Dentre a quantidade total de resíduos sólidos gerados, aproximadamente 3% são compostos por vidro (MORAIS, 2022).

É necessário promover a conscientização da população quanto à importância da coleta seletiva e do consumo consciente, especialmente no que se refere à redução do uso de embalagens não biodegradáveis. Esse processo de sensibilização pode ter início no ambiente escolar (CHAPARRO *et al.*, 2021).

Uma alternativa promissora para mitigar os efeitos do descarte do vidro é a aplicação do material na construção civil. Com essa abordagem, é possível diminuir os danos causados pelo descarte inadequado, promovendo um futuro mais sustentável e ambientalmente responsável, já que aliada a utilização do vidro haverá a redução do consumo de areia por m³ de argamassa produzida. Assim, este estudo visa auxiliar nas pesquisas sobre a reutilização de resíduos, avaliando as propriedades mecânicas, tanto no estado fresco quanto endurecido, de argamassas de regularização de contrapiso, investigando a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo (areia) por vidro.





[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 SISTEMAS DE PISOS

A Norma brasileira NBR 15575-3 (ABNT, 2013), define como sistema de pisos, o conjunto composto por camadas com funções específicas, como suporte estrutural, vedação e resistência ao tráfego, podendo ser executado em planos horizontais ou inclinados. Dentre essas camadas, destacam-se a camada estrutural (geralmente a laje), a camada de contrapiso, a camada de fixação (argamassa colante) e a camada de acabamento (revestimento final). Além dessas camadas, o sistema pode incluir ainda camadas complementares de impermeabilização e isolamento térmico ou acústico, atendendo as exigências do projeto e o uso previsto para o ambiente, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Exemplo genérico de um sistema de pisos e seus elementos.



Fonte: ABNT NBR 15575-3, 2013.

A supracitada norma, NBR 15575-3, estabelece ainda os requisitos para os sistemas de pisos, do qual o contrapiso faz parte do conjunto de camadas, sendo a camada aplicada sobre o substrato com a finalidade de regularizá-lo, proporcionando uma superfície uniforme, coesa e estável, aderida ou não, apta a receber a camada de acabamento. Podendo ainda atuar como base para embutimento de instalações



ou conformação de caimentos e declividades, conforme as exigências do projeto (ABNT, 2013).

A falta de normas técnicas específicas para a execução do contrapiso dificulta o estudo dessa camada, pois não há padronização que permita comparar diferentes trabalhos. Essa falta de diretrizes também faz com que a execução seja frequentemente empírica, sem garantia de desempenho e podendo gerar custos elevados. Assim, este estudo reúne informações da literatura sobre as características essenciais ao bom desempenho do contrapiso, contribuindo para que pesquisas futuras avaliem contrapisos produzidos de forma controlada (BOTELHO; SIQUEIRA, 2022).

Ferreira (2025) avaliou a substituição da areia natural por vidro moído de garrafas long neck nos teores de 0%, 5% e 10%. O autor identificou que 5% de substituição apresentou o melhor desempenho, com maior resistência à compressão e menor absorção de água e índice de vazios. Embora o teor de 10% tenha mostrado resultados inferiores ao de 5%, ainda superou o traço convencional em alguns aspectos. Os dados do estudo indicam a viabilidade técnica da incorporação de até 5% de vidro moído como agregado miúdo, reforçando seu potencial sustentável na construção civil.

Embora o vidro seja um material infinitamente reciclável e totalmente reaproveitável, a taxa de reciclagem desse resíduo no Brasil ainda é considerada baixa, em razão das dificuldades logísticas e do reduzido incentivo ao processo de reciclagem. De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (Abividro), são produzidas anualmente mais de um milhão de toneladas de vidro, das quais aproximadamente 25,8% são efetivamente recicladas. Estima-se que a reciclagem desse material movimente cerca de R\$ 120 milhões por ano no país (POLEN, 2024).

4.2 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

Conforme a NBR 13529 (ABNT, 1995), argamassa consiste em uma mistura uniforme composta por agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água,



podendo também incluir aditivos e/ou adições. Suas características de aderência e endurecimento tornam-na essencial a construção civil, sendo utilizada tanto para unir elementos estruturais, como tijolos e pedras, quanto para preencher os espaços vazios entre eles ou resultar em um acabamento final.

Conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005), as argamassas devem atender a requisitos específicos tanto em termos mecânicos quanto reológicos. Esses requisitos incluem resistência à compressão, capacidade de retenção de água e o teor de água incorporado.

As propriedades das argamassas devem ser avaliadas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. No estado fresco, é possível examinar características como consistência, facilidade de aplicação, coesão, tixotropia, capacidade de retenção de água, densidade aparente e quantidade de ar incorporado. Já no estado endurecido, a avaliação envolve resistência mecânica, deformabilidade, permeabilidade e adesão ao substrato (SILVA, 2010).

4.2.1 Estado fresco

4.2.1.1 Trabalhabilidade, consistência e plasticidade

A trabalhabilidade corresponde às características da argamassa ainda fresca que influenciam o quão facilmente ela pode ser manipulada, misturada, transportada, aplicada, adensada e acabada (CARASEK, 2007).

Considera-se que uma argamassa apresenta boa trabalhabilidade quando se espalha com facilidade durante o assentamento, não sofre segregação durante o manuseio, não adere excessivamente à colher de pedreiro e mantém-se plástica por tempo adequado para a execução do serviço. Além disso, não deve endurecer rapidamente ao entrar em contato com superfícies muito absorventes (SILVA, 2011).

Segundo Kanning (2013), enquanto a trabalhabilidade está associada ao modo como a argamassa é utilizada e manipulada, a consistência corresponde a um parâmetro numérico empregado para expressar o grau de fluidez da mistura. Isaia



(2007) descreve a consistência das argamassas como a resistência que a mistura oferece quando submetida a uma tensão enquanto ainda se encontra no estado fresco.

De acordo com Silva (2011), a plasticidade depende da quantidade de ar incorporado, das propriedades e proporções dos materiais que compõem a argamassa, além do método utilizado no seu preparo.

4.2.1.2 Retenção de água

A retenção de água é a propriedade que permite à argamassa preservar sua trabalhabilidade e permanecer aplicável por tempo suficiente, mesmo quando submetida a condições que favorecem a perda de água, seja por evaporação, absorção pelo substrato ou pelas próprias reações de hidratação (BAUER *et al.*, 2005).

Carasek (2007) descreve a retenção de água como a capacidade que a argamassa fresca possui de conservar sua trabalhabilidade mesmo quando submetida a condições que favorecem a perda da água de amassamento, seja por evaporação ou pela absorção pelo substrato.

Freitas (2010) acrescenta que a propriedade da argamassa fresca influencia diretamente a retração por secagem, um dos principais fatores responsáveis pelo surgimento de fissuras na argamassa endurecida, comprometendo a estanqueidade e a durabilidade da alvenaria.

4.2.2 Estado Endurecido



4.2.2.1 Resistência Mecânica

A resistência mecânica constitui uma propriedade que permite avaliar, de forma quantitativa e qualitativa, o comportamento físico das argamassas, refletindo a relação entre a carga aplicada e a área sobre a qual ela atua. Essa resistência resulta das tensões de compressão, tração ou cisalhamento às quais a argamassa é submetida, sendo influenciada pela composição dos materiais, suas proporções e pelo fator água/aglomerante (CARASEK, 2007).

Kanning (2013) destaca que um dos principais fatores responsáveis pela redução da resistência mecânica das argamassas é a formação de vazios decorrentes de um elevado fator água/aglomerante durante o preparo. Isso ocorre porque o excesso de água, que não é efetivamente consumido nas reações químicas do aglomerante, evapora com o tempo, deixando espaços vazios na matriz e, conseqüentemente, diminuindo a resistência mecânica do material.

Segundo Shankoski (2012), o desenvolvimento da resistência à compressão das argamassas ocorre de maneira semelhante ao do concreto, iniciando-se com o enrijecimento e evoluindo progressivamente ao longo do tempo em função da hidratação do cimento e, quando aplicável, da carbonatação da cal utilizada na mistura.

4.3 TIPOS DE ARGAMASSAS

4.3.1 Argamassa de Assentamento de Alvenaria

A argamassa desempenha um papel fundamental na execução de estruturas de alvenaria, sejam constituídas por tijolos ou blocos, ao promover a união entre os elementos e formar um conjunto sólido e coeso. Sua aplicação permite a distribuição uniforme das cargas estruturais, inclusive as resultantes de ações como a força do vento, ao longo da superfície das unidades de alvenaria. Além disso, exerce a função



de vedação, preenchendo as juntas e contribuindo para a impermeabilidade do sistema, especialmente contra a infiltração de água proveniente das chuvas (LIRA, 2017).

Conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005), as argamassas devem atender a requisitos específicos de resistência mecânica para garantir que cumpram adequadamente suas funções, seja na alvenaria, no revestimento ou no contrapiso. Entre as propriedades mais importantes da argamassa está a resistência à compressão, que mede a capacidade da argamassa de suportar pressões e esforços sem sofrer falhas estruturais. Este parâmetro é especialmente relevante em argamassas utilizadas em contrapiso e assentamento, onde as cargas aplicadas podem ser significativas.

4.3.2 Argamassa de Revestimento

A argamassa de revestimento é amplamente utilizada em áreas internas e externas das construções, desempenhando a função de nivelar a superfície da alvenaria. Pode ser aplicada em diferentes elementos construtivos, como paredes, tetos e muros, que posteriormente receberão acabamentos diversos, incluindo pinturas, revestimentos cerâmicos, laminados, entre outros (CARASEK, 2007).

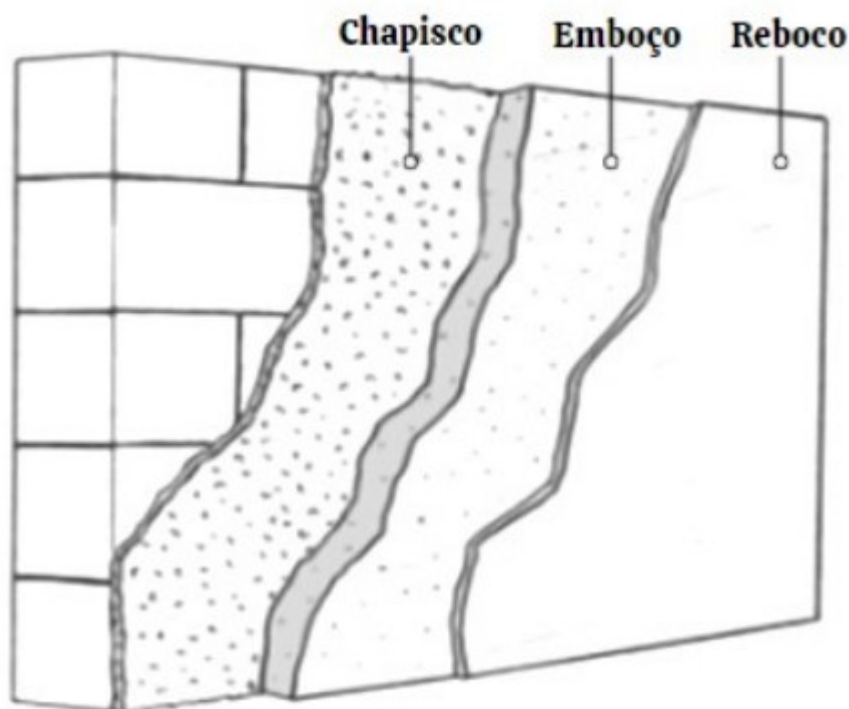
Segundo Carasek (2007), além de proporcionar uma base adequada para os acabamentos, essas argamassas exercem um papel fundamental na proteção da edificação contra agentes climáticos. Também atuam como elemento de ligação entre os sistemas de vedação da construção, contribuindo significativamente para o desempenho da edificação: cerca de 30% na eficiência do isolamento térmico, 50% no isolamento acústico, entre 70% e 100% na prevenção contra infiltrações, além de oferecerem maior segurança em situações de incêndio.

De acordo com a NBR 13749 (ABNT, 2013), as argamassas aplicadas em paredes e tetos podem ser classificadas conforme a quantidade e o tipo de camadas empregadas, como chapisco, emboço, reboco, aplicação em camada única e



revestimentos decorativos monocamada. A Figura 2 apresenta essas diferentes formas de aplicação, evidenciando suas características e funções.

Figura 2 - Camadas constituintes do revestimento



Fonte: ABCP, 2002.

De acordo com Carasek (2007), as argamassas de revestimento podem ser aplicadas em diferentes camadas, cada uma com funções específicas:

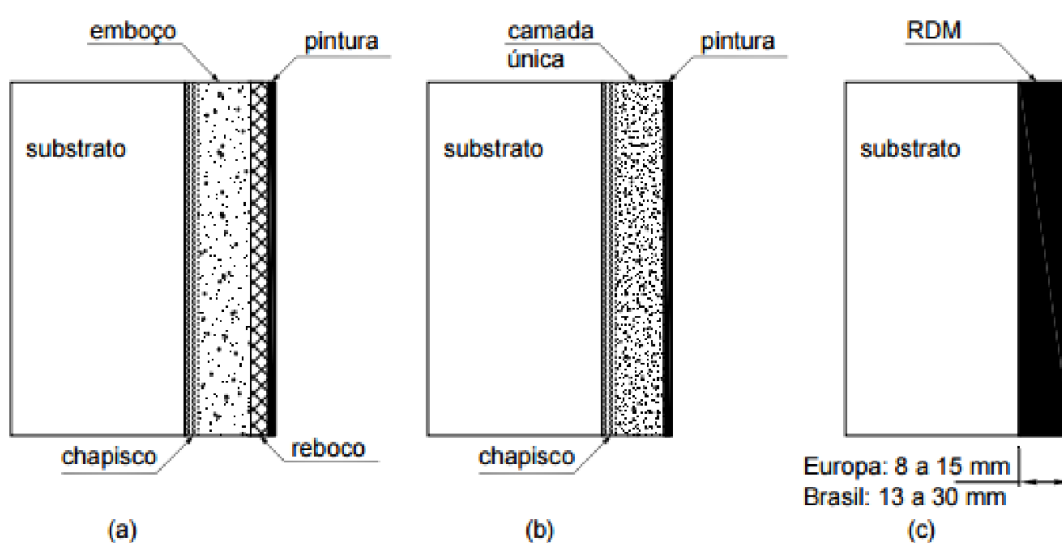
- Chapisco: trata-se da primeira camada aplicada diretamente sobre a base, com a finalidade de padronizar a absorção da superfície e garantir melhor aderência para as camadas subsequentes do revestimento.
- Emboço: é a camada intermediária, responsável por cobrir o chapisco e promover a regularização da superfície, preparando-a para receber o acabamento final, seja ele o reboco ou algum revestimento de caráter decorativo.



- Reboco: aplicado sobre o emboço, tem como principal função fornecer uma superfície adequada para o acabamento final, podendo inclusive ser utilizado como acabamento em si, dependendo das características do projeto.
- Camada única: refere-se à aplicação de um único tipo de argamassa sobre a base, que após sua secagem pode receber diretamente o acabamento estético, como a pintura, por exemplo.
- Revestimento decorativo monocamada: é uma argamassa pronta, de natureza industrializada, que combina, em uma só aplicação, funções de regularização da superfície e de acabamento decorativo.

A Figura 3 ilustra as distinções entre três diferentes métodos de revestimento aplicados em paredes.

Figura 3 - Três alternativas para revestimento de paredes: (a) emboço, reboco e pintura, (b) camada única e pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).



Fonte: Carasek, 2007.

4.3.3 Argamassa de Contrapiso



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

Segundo Santos (2011) a argamassa de contrapiso desempenha várias funções essenciais, como garantir o caimento adequado em diferentes ambientes, suportar os revestimentos e seus componentes, corrigir pequenas irregularidades, resistir a cargas sem apresentar fissuras, embutir tubulações elétricas e hidráulicas, incorporar sistemas de impermeabilização e contribuir para o isolamento acústico e térmico, entre outras. Em contrapartida, as argamassas aplicadas na finalização do piso têm como objetivo proporcionar um acabamento que atenda às exigências do projeto, incluindo características como resistência à compressão, abrasão e proteção contra agentes químicos presentes em produtos de limpeza, entre outros fatores.

O desempenho das argamassas depende de vários fatores, como, por exemplo, a aspereza, que é diretamente influenciada pela granulometria da areia utilizada, resultando em um acabamento final que pode apresentar ondulações; a resistência mecânica proveniente dos materiais empregados; a quantidade de água na mistura (que deve ser precisa, considerando que normalmente são preparadas argamassas secas, com consistência semelhante à “farofa”) (Figura 4); e a capacidade de absorver as movimentações naturais da estrutura (SANTOS, 2011).

Figura 4 - Execução de contrapiso

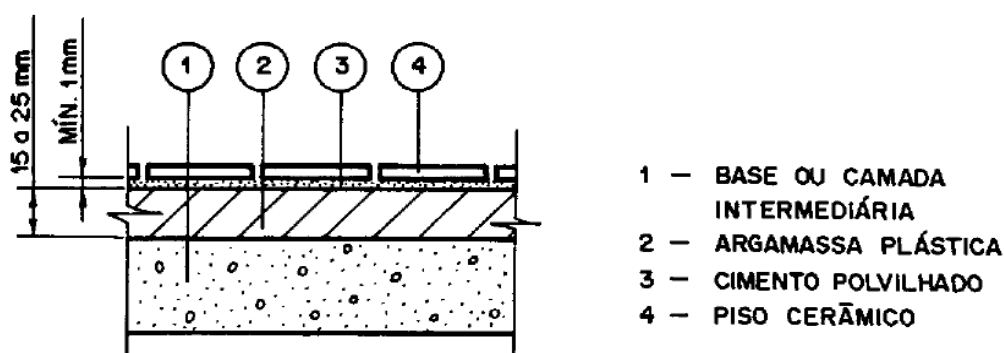


Fonte: Carluc, 2024.



Segundo a NBR 9817 (ABNT 1987), a camada de argamassa de assentamento (cimento polvilhado), ilustrada na Figura 5, deve ter espessura variando entre 15 mm e 25 mm. Sobre essa camada, recomenda-se a aplicação de aproximadamente 1,5 kg de cimento por metro quadrado de piso, o que corresponde a uma espessura de cerca de 1 mm de cimento polvilhado.

Figura 5 - Assentamento dos pisos cerâmicos com argamassa plástica



Fonte: ABNT NBR 9817, 1987.

4.4 MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA

4.4.1 Cimento Portland

Segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) (2025), os primeiros esforços para produzir cimento Portland no Brasil começaram em 1888, entretanto, as empresas da época enfrentaram dificuldades principalmente devido à distância estrangeiro.

O cimento é produzido por meio da reação térmica, cujas matérias primas principais são o calcário (carbonato de cálcio) e a argila. Essas matérias-primas fornecem os óxidos necessários para o processo de hidratação do cimento. Quando o carbonato de cálcio (CaCO_3) é aquecido, dentro dos fornos a altas temperaturas, ele se transforma em cal (CaO) e libera dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera.



Enquanto, da argila são extraídos os óxidos SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Nos fornos rotativos, os materiais podem atingir temperaturas superiores a 1450°C , durante o processo de clínquerização é nesse estágio que, ocorrem diversas reações físicas e químicas, e, ao esfriar, o material se aglomera em partículas chamadas de clínquer, com diâmetros variando de 2 a 20 mm (CASTRO, 2021).

Os principais tipos de cimento utilizados no Brasil são: Cimento Portland Comum (CP I), Composto (CP II), Alto-Forno (CP III), Pozolânico (CP IV), Alta Resistência Inicial (CP V-ARI), Resistente a Sulfatos (RS), Baixo Calor de Hidratação (BC) e Cimento Portland Branco (CPB) (ABCP, 2022).

A NBR 16697 (ABNT, 2018) unificou a classificação dos cimentos no Brasil, redefinindo os tipos e os limites de adições permitidas. Essa padronização contribuiu para a correta especificação nos projetos e assegurou maior controle de qualidade e desempenho, conforme indicado no Quadro 1.

Quadro 1 - Tipos de cimento de acordo com as normas brasileiras

Designação normatizada	Sigla	Classe de Resistência	Sufixo	Clínquer + Sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 - 100	0 - 5		
	CP I-S			90 - 94	0	0	6 - 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno	CP II-E			51 - 94	6 - 34	0	0 - 15
Cimento Portland composto com material pozolânico	CP II-Z			71 - 94	0	6 - 14	0 - 15
Cimento Portland composto com material carbonático	CP II-F			75 - 89	0	0	11 - 25
Cimento Portland de alto forno	CP III			25 - 65	35 - 75	0	0 - 10
Cimento Portland	CP IV			45 - 85	0	15 - 50	0 - 10



Pozolânico								
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V ^a	ARI		90 - 100	0	0	0 - 10
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40		75 - 100	-	-	0 - 25
	Não Estrutural		-	-	50 - 54	-	-	26 - 50

^a No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozolânicos.

Fonte: ABNT NBR 16697, 2018 – Cimento Portland – Requisitos

A incorporação das adições aos cimentos também tem cunho ambiental, já que foi permitida maior quantidade de adições a esses cimentos (escórias, cinzas volantes, entre outras), adições essas que são subprodutos de outras indústrias, entrando para a indústria de carbono como neutros em carbono. Ou seja, propiciando uma menor diminuição na emissão de CO₂ por tonelada de cimento produzida (ROADMAP, 2019).

4.4.2 Areia

Conforme a norma brasileira NBR 7211 (ABNT, 2022), os agregados miúdos são definidos como aqueles que passam pela peneira com malha de 4,75 mm e são retidos na peneira de 0,15 mm. A areia utilizada pode ser de origem natural, obtida diretamente da natureza em forma de fragmentos, ou artificial, também chamada de areia industrial, produzida a partir de rochas britadas de forma a alcançar a granulometria necessária. A areia artificial é considerada uma alternativa mais sustentável, causando menos impacto ambiental em comparação à areia natural extraída.

A NBR 7211 (ABNT, 2022) é a norma que estabelece o método para determinar a composição granulométrica dos agregados. Seu objetivo é definir o processo para identificar a distribuição de tamanhos dos agregados miúdos e graúdos. O módulo de finura dos agregados miúdos pode ser classificado conforme a Figura 6, apresentada a seguir.



Figura 6 - Classificação do módulo de finura

Granulometria	Módulo de Finura
Muito Grossa	MF > 3,90
Grossa	3,30 < MF < 3,90
Média	2,40 < MF < 3,30
Finas	MF < 2,40

Fonte: ABNT NBR 7211, 2022.

A granulometria da areia influencia diretamente a facilidade de aplicação da argamassa, bem como a quantidade de aglomerante e água necessários para a mistura. Além disso, a distribuição granulométrica impacta diversas características do acabamento, como a tendência a fissuras, rugosidade, permeabilidade e resistência à aderência, que afetam o desempenho geral do revestimento (ANGELIM *et al.*, 2003).

Londero *et al.* (2017) destacam que agregados com granulometria contínua e bem distribuída favorecem a diminuição do volume de vazios, atuando por meio do chamado efeito filer. Esse comportamento reduz a porosidade do conjunto granular e melhora a densidade de empacotamento.

4.4.3 Água

A água presente nas misturas de concreto e argamassa tem duas funções principais: possibilitar a hidratação e a solidificação do cimento Portland, além de garantir a uniformidade da mistura. A quantidade de água necessária para cada tipo de concreto ou argamassa é determinada conforme as características desejadas, como a trabalhabilidade e a resistência exigida pelo projeto. Recomenda-se o uso de água potável para essa finalidade (SIRTOLI, 2022).

Conforme o Ministério da Saúde (Brasil, 2017), a água é um recurso indispensável à vida humana e ao desenvolvimento. Garantir que seja própria para o consumo é essencial, pois a ingestão de água fora dos padrões de potabilidade pode ocasionar enfermidades e afetar o funcionamento físico e biológico do organismo.



Dessa forma, torna-se imprescindível assegurar a qualidade da água e seu acesso à população, a fim de promover saúde e bem-estar.

4.5 VIDRO

O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida ao resfriar uma massa em fusão. A sua principal característica é a transparência e a dureza. O vidro tem diversas aplicações nas mais diversas indústrias, dada sua inalterabilidade, dureza, resistência, propriedades térmicas, ópticas e acústicas, o que o torna um dos poucos materiais ainda insubstituíveis, sendo cada vez mais presente nas pesquisas de desenvolvimento tecnológico para o bem-estar do homem. Existem dois tipos de vidros mais utilizados sendo eles o vidro plano e o vidro de segurança (CEBRACE, 2025).

4.5.1 Vidro Como Resíduo Sólido

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, considera como resíduo sólido todo material, substância, objeto ou bem descartado proveniente das atividades humanas em sociedade, que necessite de destinação final adequada, seja ela efetiva, planejada ou obrigatória, nos estados sólido ou semissólido. Também são incluídos nessa definição os gases armazenados em recipientes e os líquidos que, por suas características, não podem ser despejados na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, nem tratados por métodos técnicos ou economicamente viáveis de acordo com as tecnologias mais adequadas e atualizadas.

Os resíduos de vidro são classificados como Classe B: resíduos recicláveis destinados a outras finalidades, como plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros. Esses resíduos devem ser reutilizados, reciclados ou encaminhados para áreas de armazenamento temporário, de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura (BRASIL, 2010).



4.5.2 Pesquisas relacionadas a substituição parcial da areia pelo vidro como agregado miúdo

Segundo Cenci (2019) o trabalho intitulado “Análise da Viabilidade Mecânica da Utilização do Vidro Cominuído na Produção de Argamassa”, alcançou seu objetivo ao avaliar a viabilidade de substituir a areia calcária pela areia de vidro como componente em argamassas. De acordo com os resultados há redução nas resistências mecânicas devido a incorporação de vidro, o que ressalta a necessidade de análises mais detalhadas dessas características, visando identificar formas de aproveitar esse resíduo em materiais compósitos. A análise dos dados revelou diminuição em todas as propriedades avaliadas. Entretanto, para o autor isso não inviabiliza seu uso, uma vez que houve redução de 15,87% na massa, possibilitando a reavaliação da formulação da argamassa para o desenvolvimento de um material adequado a contrapisos leves, em áreas onde se requer apenas regularização e não resistência estrutural, contribuindo para a redução da carga sobre a edificação.

Donadel (2022) avaliou a substituição da areia por resíduos de garrafas de vidro *long neck* em argamassas, visando sustentabilidade e conformidade com normas técnicas de resistência. Os ensaios mostraram resultados positivos, especialmente com 75% de substituição após 28 dias. Concluiu-se que a reciclagem do vidro pode reduzir o descarte em aterros e diminuir o uso de areia na construção civil.

Já Tinoco (2021), em sua análise da viabilidade técnica do uso do vidro moído como substituto do agregado miúdo na produção de concreto concluiu que a substituição de agregado miúdo natural por vidro moído com substituições no concreto é tecnicamente viável. A análise focou apenas na substituição do material, sem considerar outras variáveis como massa ou granulometria. Os resultados indicaram que o abatimento diminui à medida que aumenta a substituição, o que pode ser útil em estruturas que exigem menor fluidez e maior resistência. Além disso, a substituição trouxe benefícios ambientais ao reutilizar materiais vítreos, evitando o descarte inadequado e criando novas oportunidades de emprego. Cada 10% de substituição aumentou a resistência à compressão em 0,4 MPa.



O progresso tecnológico tem promovido um aumento considerável na produção de bens industrializados e na exploração de recursos minerais. Nesse contexto, a Construção Civil destaca-se como um dos setores que mais reaproveitam resíduos. Segundo Moreira (2020), o desempenho mecânico de concretos e argamassas com a substituição parcial do agregado miúdo (areia) por vidro moído proveniente de garrafas de cerveja *long neck*, utilizando diferentes proporções de substituição. Foram avaliados teores de 10 %, 20 % e 30 % de vidro moído em relação à massa de areia. Os resultados obtidos demonstraram um desempenho satisfatório em todas as formulações, sendo a maior resistência alcançada com a substituição de 20 %.

O uso de resíduos sólidos, como o vidro, na construção civil tem crescido por seus benefícios ambientais e econômicos. Estudo realizado por Oliveira (2023) analisou a substituição parcial da areia por vidro em argamassas (12 %, 24%, 36 % e 48 %), avaliando suas propriedades físico-mecânicas. Para tanto, ensaios laboratoriais de consistência, tração na flexão e compressão foram realizados após 7 e 28 dias, e mostraram que a argamassa com 36 % de vidro apresentou o melhor desempenho, com 25% de aumento na resistência em comparação à argamassa de referência (OLIVEIRA, 2023).

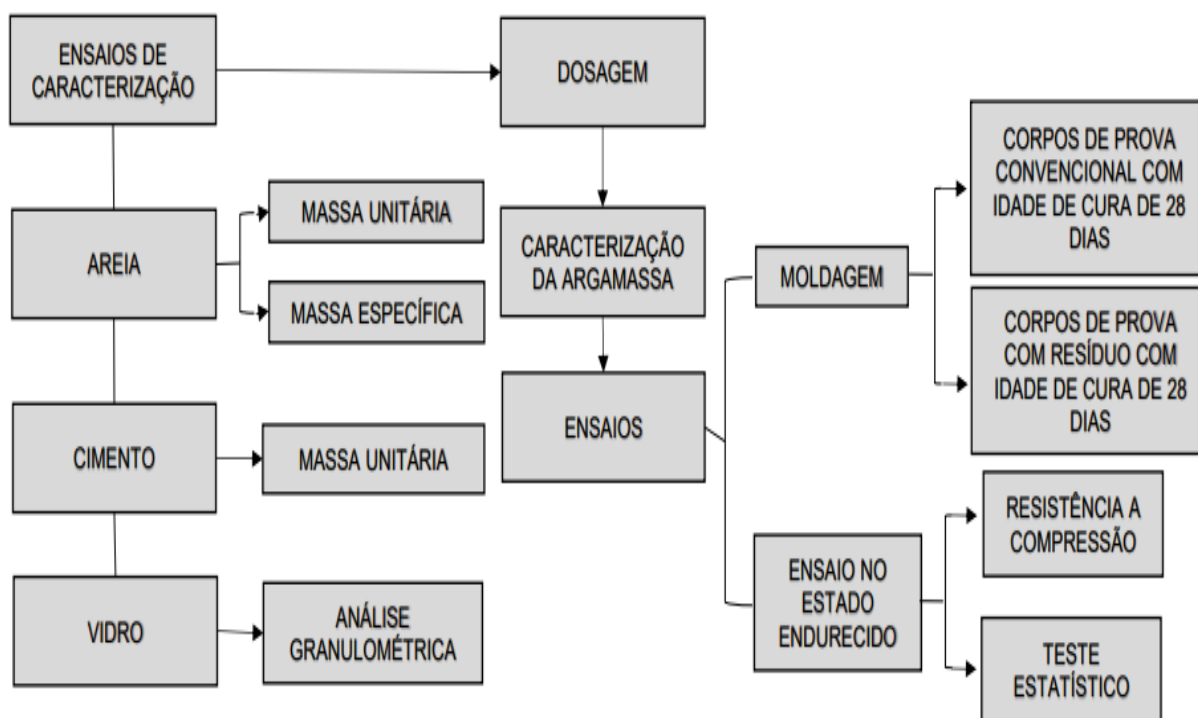
Após examinar diversas concentrações de resíduo de vidro proveniente de garrafas *long neck* como substituto da areia na formulação de argamassa para revestimentos, que busca aliar sustentabilidade e proteção ambiental, Batista (2022) constatou que todas as amostras atenderam adequadamente aos critérios das normas técnicas de resistência. O melhor desempenho foi alcançado substituindo 75 % da areia por resíduo de vidro em corpos de prova com 28 dias de cura. Os resultados obtidos em conformidade com as exigências normativas permitem afirmar que a utilização do resíduo de vidro é de grande relevância, pois pode reduzir de forma significativa a quantidade de garrafas destinadas a aterros sanitários. Ademais, a reciclagem sugerida pode diminuir o consumo de areia, amplamente utilizada na construção civil.



5 METODOLOGIA

Neste capítulo, serão explorados os ensaios realizados durante esta pesquisa. Aqui, descreve-se os métodos empregados para caracterizar os materiais, o processo de obtenção do vidro e a dosagem da argamassa, proporcionando uma visão clara e compreensível das etapas que compõem o presente trabalho. Todos os ensaios foram realizados no laboratório de concreto da Faculdade Uniguaçu, localizada na cidade de São Miguel do Iguazu/PR. O Fluxograma das atividades e ensaios realizados encontram-se distribuídos na Figura 7.

Figura 7 – Fluxograma: Preparação e caracterização das argamassas



Fonte: o Autor, 2024.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

Com o objetivo de aprofundar o estudo, foram realizados os ensaios de caracterização dos materiais, cujos métodos de ensaios e norma de referência encontram-se discriminados no quadro 2.

Quadro 2 - Caracterização dos materiais

MATERIAIS	Ensaio	Norma
Cimento	Massa específica	ABNT NBR 16605:2017
Areia	Massa específica	NBR NM 52
	Massa unitária	NBR 16972/2021
	Granulometria - MF	NBR 7211:2022
Vidro	Análise granulométrica	NBR 7211:2022

Fonte: o Autor, 2024.

5.2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

As argamassas foram produzidas em laboratório, e ensaiadas quanto à resistência mecânica a compressão, conforme a NBR 7222 (ABNT, 2011) e NBR 9778 (ABNT, 2005), especificamente.

Para realização dos ensaios a compressão das argamassas foram preparados corpos de prova cilíndricos de medidas 5 x 10 cm, para cada traço de argamassa utilizada com a adição de resíduo de vidro moído nas proporções de 0%, 10%, 20%, 40 % e 80%, em relação a quantidade de areia, as argamassas foram dosadas de acordo com o método de dosagem IBRACON. Ao todo foram produzidos 25 corpos de prova para cada tipo de cimento (CP- V ARI e CP II F). Sendo 50 CP's produzidos no total.

5.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL



5.3.1 Cimento

Neste estudo, foi utilizado o Cimento Portland do tipo CP V - ARI, cuja composição é regulamentada pela NBR 16697 (ABNT, 2018), contendo de 90% a 100% de clínquer + sulfatos de cálcio, e de 0% a 10% de material carbonático. Também foi empregado o Cimento Portland do tipo CP II-F, que possui como material adicionado o filler calcário — uma fração fina derivada do calcário — compondo de 11% a 25% da formulação total do cimento. Ao contrário do material pozolânico, o filler não reage quimicamente, sendo considerado inerte; contudo, contribui significativamente para a trabalhabilidade e coesão da mistura de concreto, conforme estabelece a NBR 16697 (ABNT, 2018).

5.3.2 Massa específica

A determinação da massa específica do cimento foi realizada utilizando-se o frasco de Le Chatelier, querosene, uma balança de precisão e cimento seco. Inicialmente, foi pesada a quantidade de cimento necessária para o ensaio, garantindo-se que fosse suficiente para provocar o deslocamento do líquido entre os volumes de 18 cm³ e 24 cm³.

Para este procedimento, utilizou-se uma amostra de 60 g. Em seguida, o frasco foi preenchido com querosene até alcançar uma marca situada entre 0 cm³ e 1 cm³, sendo esse volume registrado como leitura inicial V1. Após isso, a amostra de cimento foi inserida cuidadosamente no frasco com o auxílio de um funil de haste curta. A introdução do material foi feita de maneira gradual, em pequenas porções, a fim de evitar que o cimento aderisse às paredes internas do frasco acima do nível do líquido.

Após a introdução da amostra (Figura 8), o frasco foi cuidadosamente agitado com movimentos pendulares, de modo a eliminar possíveis bolhas de ar no interior. Esse procedimento foi repetido até que, ao retornar o frasco à posição vertical, não fossem mais observadas formações de bolhas. Em seguida, realizou-se a leitura final do volume, registrada como V2.



Figura 8 - Frasco Le Chatelier com amostra, volume final.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

A massa específica da amostra foi obtida por meio do cálculo baseado na Equação 1.

$$\text{Massa Específica} = \frac{M}{V_2 - V_1} = \text{cm}^3$$

(Equação 1)

Onde:

M é a massa do cimento seco, em g.

V1 é volume inicial, em cm³;

V2 é o volume final, em cm³.

A massa específica do cimento Portland geralmente varia entre 2,9 g/cm³ e 3,15 g/cm³ conforme referência da NBR 16605 (ABNT, 2017).

5.4 AGREGADOS

O ensaio de determinação da composição granulométrica dos agregados empregados nas misturas foi conduzido com base nas orientações da norma NBR NM 248 (ABNT, 2003) – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica.



Esse procedimento foi aplicado às amostras de agregados naturais graúdo e miúdo. Inicialmente, as amostras foram submetidas à secagem em estufa a 110 °C até atingirem massa constante. Em seguida, foi montado o conjunto de peneiras da série normal, adequando-se às características de cada tipo de agregado. As amostras secas foram então colocadas no agitador mecânico para realização do peneiramento.

Promoveu-se a agitação manual do conjunto de peneiras por, aproximadamente, 5 minutos, para permitir a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grãos das amostras. Posteriormente, os materiais retidos em cada peneira foram pesados em uma balança digital de precisão e anotados.

5.4.1 Agregado natural miúdo (areia)

O agregado miúdo natural, foi fornecido pelo Laboratório de Engenharia Civil da Uniguaçu (Figura 9). Os ensaios para caracterização desse material foram conduzidos em conformidade com as normas NBR NM 248:2003, que trata da determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003), e NBR 16972:2021, referente à determinação da massa unitária dos agregados (ABNT, 2021).

Figura 9 - Agregado Miúdo (areia)

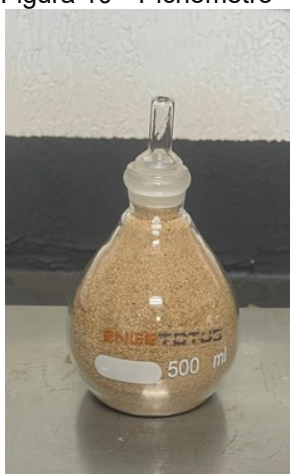


Fonte: Autoria Própria, 2025.



A determinação da massa específica e da massa unitária de materiais como a areia é essencial em diversas aplicações da engenharia civil, especialmente no que se refere ao controle de qualidade dos materiais utilizados. Entre os métodos empregados para obtenção da massa específica da areia, destaca-se o método do picnômetro. Esse procedimento baseia-se no cálculo da razão entre a massa do material e o volume por ele ocupado, considerando a densidade da água como referência. O picnômetro, por sua vez, é um recipiente de vidro com volume conhecido (Figura 10).

Figura 10 - Picnômetro



Fonte: Autoria Própria, 2024.

Inicialmente, o picnômetro seco e vazio é pesado em uma balança de precisão para registrar sua massa. Em seguida, o frasco é totalmente preenchido com água e novamente pesado. Após essa etapa, uma porção de areia seca é introduzida no picnômetro, e a quantidade de água é ajustada até preencher completamente o volume do recipiente. Durante esse processo, é essencial eliminar quaisquer bolhas de ar, assegurando que toda a água ocupe os espaços entre os grãos de areia. Por fim, realiza-se a pesagem do picnômetro contendo tanto a areia quanto a água.

A massa específica da areia (ρ) é calculada por meio da seguinte equação:

$$\rho = \frac{c - a}{(b - a) - (d - c)}^3$$

(Equação 2)



Onde:

a é a massa do picnômetro vazio;

b é a massa do picnômetro com água;

c é a massa do picnômetro com areia;

d é o peso do picnômetro, mais amostra, mais água.

5.4.2 Resíduo de Vidro

O resíduo de vidro empregado nesta pesquisa foi previamente preparado e fornecido por uma empresa localizada no município de São Miguel do Iguaçu, responsável pela coleta e pelo processamento do material. Após a obtenção, o resíduo passou por etapas de moagem, lavagem e peneiramento, assegurando sua adequação para os ensaios experimentais.

O material foi entregue em condições ideais de uso, com granulometria passante na peneira de 30 mm, o que permitiu sua utilização imediata nos testes de incorporação à argamassa. A parceria com a referida empresa foi essencial para a execução e o desenvolvimento deste trabalho. A figura 11 mostra o resíduo de vidro moído utilizado nos ensaios.

Figura 11 - Resíduo de vidro





Fonte: Autoria própria, 2024.

5.5 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Para o ensaio no estado endurecido foram moldados 50 corpos de prova cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, sendo 5 para cada porcentagem de adição do resíduo. Os quais foram submetidos ao ensaio de compressão axial com idade de 28 dias.

5.5.1 Traço da Argamassa

De acordo com a caracterização do agregado e especificações do cimento foi calculado o traço em volume da argamassa conforme método IBRACON. A proporção de materiais empregada na produção dos 50 corpos de prova está apresentada na Tabela 2. Para cada traço adotado, foi necessário realizar ajustes na relação água/cimento, de modo a garantir a manutenção da trabalhabilidade da argamassa em todas as condições experimentais.

Tabela 2 - Traço da argamassa com substituição parcial de resíduo.

Percentual	Cimento (l)	Areia (l)	Água (l)	Resíduo de vidro (l)
Convencional	1	3	1	0
Vidro 10%	1	2,7	1	0,3



Vidro 20%	1	2,4	1	0,6
Vidro 40%	1	1,8	1	1,2
Vidro 80%	1	0,6	1,1	2,4

Fonte: O autor, 2024

O traço mencionado na tabela acima foi aplicado para os dois tipos de cimento (CPV – ARI e CPII – F).

5.5.2 Moldagem e Cura das Argamassas

As argamassas foram produzidas por meio de mistura manual, em função do pouco volume produzido. O processo de moldagem e cura dos corpos de prova deu-se através da ABNT NBR 5738 (2015) – Concreto – procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova.

Após a moldagem dos CP's, conforme mostrado na Figura 12 eles foram armazenados em uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e de qualquer outra ação que viesse perturbar a argamassa, durante 24 horas, para obtenção da cura inicial. Passado este período, os CP's foram retirados dos moldes e identificados com suas respectivas porcentagens de substituição de resíduo.

Figura 12 - CP's desmoldados e identificados.



Fonte: Autoria própria, 2024.

5.5.3 Ensaio de Resistência a Compressão

Aos 28 dias os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência a compressão, seguindo as diretrizes estabelecidas pela NBR 5739 (ABNT, 2018) – Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

Para o ensaio foi necessário utilizar o disco de neoprene para nivelar os CP's na máquina de compressão, onde foram cuidadosamente posicionados no centro do prato inferior. Antes do início do ensaio, procedeu-se à limpeza das superfícies de contato tanto dos pratos de carga quanto dos corpos de prova, assegurando o correto assentamento. O ajuste da distância entre os pratos teve como objetivo facilitar o posicionamento e o alinhamento adequado dos corpos de prova, bem como garantir sua fixação na máquina.

A aplicação da carga foi interrompida no momento em que se observou a queda na força aplicada, caracterizando o rompimento do corpo de prova, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Rompimento do Corpo de Prova





Fonte: Autoria própria, 2024.

A resistência à compressão de cada corpo de prova foi calculada através da Equação 3.

$$f = \frac{4F}{\pi \cdot D^2}$$

(Equação 3)

Onde:

f é a resistência à compressão, expressa em kg/cm^2

F é a força máxima alcançada, expressa em quilogramas (kg);

D é o diâmetro do corpo de prova, expresso em centímetros (cm).

Os resultados serão demonstrados em megapascals (MPa), necessitando converter os valores de tensão, utilizando a equação 4.

$$\text{MPa} = \frac{1}{10} \times \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

(Equação 4)



6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

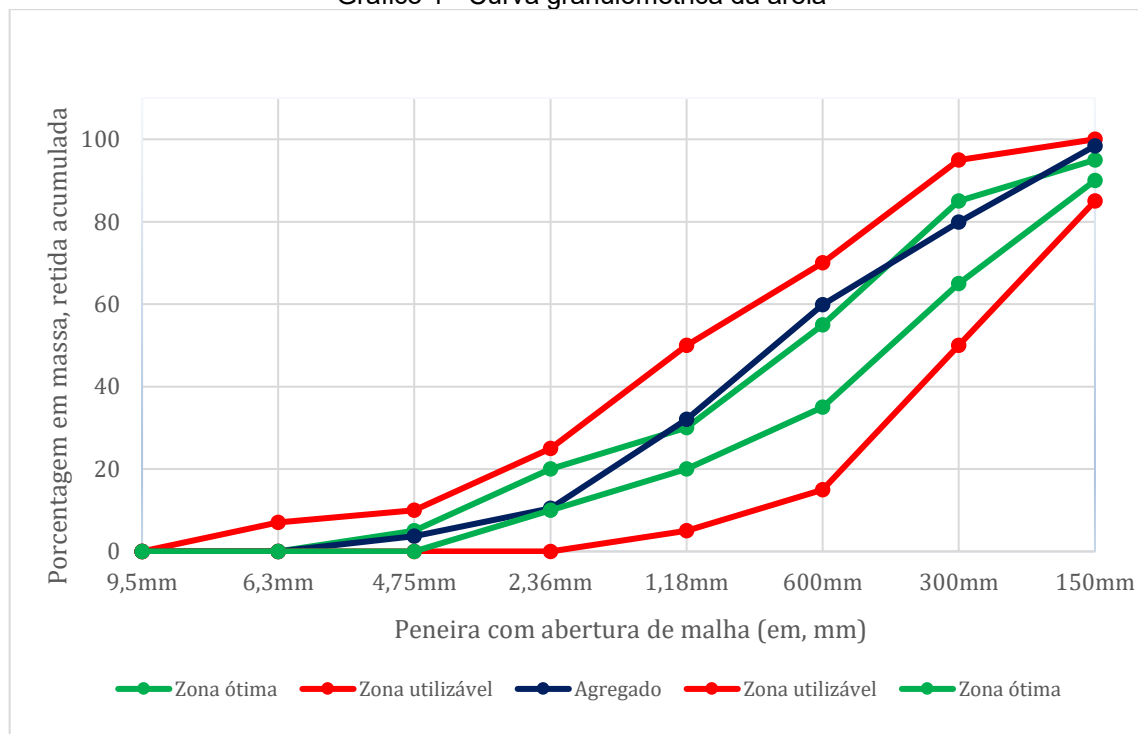
6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A caracterização dos materiais constituintes foi realizada com o objetivo de avaliar suas propriedades físicas e assegurar que se enquadrassem nos requisitos das normas técnicas vigentes.

A massa específica do cimento CP II-F 32 foi de $2,94 \text{ g/cm}^3$, enquanto a do cimento CP V-ARI foi de $2,93 \text{ g/cm}^3$, ambos dentro da faixa prevista pela ABNT NBR 16697 (2018), que estabelece valores típicos entre $2,90$ e $3,15 \text{ g/cm}^3$.

O gráfico 1 apresenta a curva granulométrica da areia em comparação com as faixas de referência denominadas zona ótima e zona utilizável, conforme determinado pela NBR 7211 (ABNT, 2022), onde os agregados empregados no concreto devem atender aos limites especificados para granulometria, composição e demais propriedades, assegurando a qualidade do material.

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia



Fonte: Autoria própria, 2024.



A análise granulométrica tem como objetivo determinar a distribuição dos tamanhos das partículas presentes no solo, por meio da quantificação das frações retidas em cada peneira utilizada no ensaio. A Tabela 1 apresenta o resumo dos valores obtidos, expressos em porcentagens e massas.

Tabela 1 - Agregado Miúdo

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida Acumulada (%)	Massa Passante (%)
4,50	2,3	0,2	0,2	99,8
2,36	17,3	1,7	1,9	98,1
1,18	32,9	3,3	5,2	94,8
0,6	86,2	8,7	13,9	86,1
0,25	674	68,00	81,9	18,1
0,15	161,8	16,33	98,23	1,77
Fundo	23,9	2,4	100	0
Total	989,40	100,00		
Modulo de finura		2,0133		
Massa Específica		2,71 g/cm³		
Massa Unitária		1,5999 g/cm³		

Fonte: O autor, 2024.

Observa-se que a curva correspondente ao agregado miúdo (areia) se mantém entre as zonas utilizável e ótima, aproximando-se majoritariamente da zona ótima. Esse comportamento indica que a areia apresenta uma granulometria adequada e bem distribuída, com uma proporção equilibrada de partículas finas e grossas.

A forma suave e contínua da curva revela uma boa graduação dos grãos, sem concentração excessiva em determinadas faixas de peneiramento. Isso demonstra que o material não contém excesso de finos, o que poderia prejudicar a trabalhabilidade, nem excesso de partículas graúdas, que comprometeriam a coesão da mistura.



De maneira geral, a distribuição granulométrica observada classifica a areia como bem graduada, sendo considerada apropriada para utilização em concretos e argamassas. Essa característica tende a proporcionar melhor trabalhabilidade, maior compactidade, menor consumo de cimento e, conseqüentemente, melhores propriedades mecânicas no produto.



A partir da análise granulométrica, constatou-se que a areia estudada possui distribuição uniforme de partículas, o que contribui significativamente para melhores características mecânicas e de trabalhabilidade em concretos e argamassas. A curva obtida apresenta perfil contínuo e progressivo, representando uma boa graduação do material.

É possível observar que a distribuição do material se situa predominantemente entre os limites da zona utilizável e da zona ótima, indicando uma granulometria adequada para aplicação em composições de concreto ou camadas granulares. A amostra apresentou módulo de finura de 2,01, sendo possível caracterizá-la como uma areia fina.

6.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO

O ensaio de resistência a compressão foi realizado para determinar a resistência da argamassa à carga compressiva aos 28 dias. Utilizou-se um corpo de prova cilíndrico padrão, submetido a uma carga crescente até a ruptura.

A tabela 3 apresenta a resistência apresentada pelos corpos de prova de argamassa com cimento CPV-ARI com adição de resíduo de vidro, adicionados proporcionalmente. Pode-se observar que as argamassas com incorporação de resíduo de vidro apresentaram melhoria na resistência mecânica comparada a argamassa de referência, com exceção da argamassa com 10% de adição de resíduo, entretanto, quando aplicado teste de comparação de média, anova com 5% de significância, observa-se que há diferença significativa entre as amostras.

Tabela 3 - Resultado ensaio compressão axial, argamassa com cimento CPV-ARI

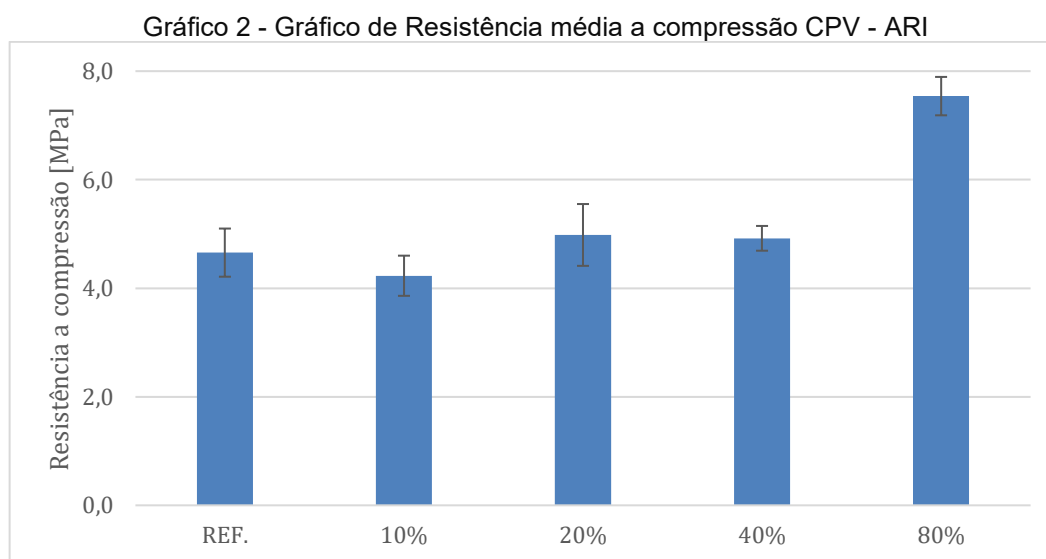
Cimento CPV ARI								
Corpo de Prova	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	Tensão Ruptura Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Teste de comparação de médias
Ref.	4,30	4,30	4,40	5,14	5,14	4,66	0,44	a



10%	4,15	4,55	4,55	3,65	4,25	4,23	0,37	a
20%	5,39	4,20	5,64	4,99	4,69	4,98	0,57	a
40%	4,64	4,74	4,94	5,14	5,14	4,92	0,23	a
80%	7,79	7,79	7,79	7,29	7,04	7,54	0,35	b

Fonte: O autor, 2025.

O teste estatístico ANOVA nada diz a respeito de quais médias diferem entre si, sendo necessário realizar teste de comparação de média, optou-se, portanto, Teste de Tukey. A Tabela 5 apresenta na forma de letras o teste de comparação de médias, médias estatisticamente iguais apresentam letras iguais, ao passo de médias diferentes apresentam letras diferentes. Desta forma, pode-se inferir que dentre as argamassas produzidas com cimento CPV ARI a argamassa com adição de resíduo de vidro de 80% foi a única que apresentou diferença significativa nos resultados, podendo ser observado no gráfico 2.



Fonte: O autor, 2025.

A obtenção de resistência superior pode ser associada ao estudo de Donadel (2022), que verificou que a substituição parcial da areia por vidro moído tende a aumentar a resistência mecânica das argamassas, devido à boa aderência entre as partículas vítreas e a matriz cimentícia, promovendo maior coesão interna e ganho de resistência ao longo do tempo. No presente estudo, a areia da argamassa foi



substituída por resíduo de vidro moído nas proporções de 0%, 25%, 50% e 75%, e todos os ensaios atenderam satisfatoriamente aos requisitos das normas. Destaca-se o traço com 75% de substituição, que apresentou o melhor desempenho aos 28 dias de cura, resultado que corrobora os achados de Donadel (2022).

No estudo realizado por Trentin (2020), buscou-se avaliar a viabilidade da utilização de garrafas long neck moídas como substituto parcial da areia na produção de argamassa. Para tanto, a areia foi parcialmente substituída por resíduo de vidro nos teores de 10%, 15%, 25% e 50%, sendo as argamassas avaliadas aos 7, 28, 63 e 91 dias de cura. Os resultados indicaram que, nos ensaios de resistência mecânica, todas as argamassas apresentaram desempenho igual ou superior ao traço de referência, destacando-se o traço com 50% de substituição, que apresentou os maiores valores de resistência.

Da tabela 4 pode-se observar que, o ensaio feito com as argamassas com cimento CII - F, com adição de resíduo de vidro apresentaram melhoria significativa na resistência mecânica comparada a argamassa de referência.

Tabela 4 - Resultado ensaio compressão axial CII - F
Cimento CII - F

Corpo de Prova	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	Tensão Ruptura Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Teste de comparação de médias
Ref.	3,30	2,70	2,80	3,65	3,65	3,22	0,45	a
10%	4,00	4,30	4,30	3,10	4,15	3,97	0,50	ab
20%	4,50	5,04	4,60	5,04	5,14	4,86	0,29	b
40%	3,80	3,85	4,00	4,00	4,00	3,93	0,10	a
80%	5,49	6,19	6,38	5,24	7,29	6,12	0,81	c

Fonte: O autor, 2025.



Para o cimento CP II F – 32, as argamassas com 20 e com 80% de adição apresentaram diferença significativa da amostra de referência, as amostras com 10% e 40% são apenas numericamente diferentes. A amostra com 80% assim como para o cimento CPV ARI apresentou maior resistência mecânica aos 28 dias, com um aumento de 2,90 MPa, sem que houvesse o aumento do consumo de cimento.

Os resultados obtidos demonstram que a substituição parcial da areia por vidro moído pode influenciar positivamente o desempenho mecânico das argamassas, especialmente em maiores proporções. O comportamento verificado corrobora com diversos estudos recentes sobre o tema.

Ferreira (2025) observou comportamento semelhante, em que teores de substituição de 5% a 10% mantiveram a resistência à compressão próxima à referência, enquanto proporções mais elevadas apresentaram aumento na resistência devido ao melhor empacotamento das partículas vítreas.

Donadel (2022) também verificou ganhos de resistência em argamassas com até 75% de substituição, especialmente após 28 dias de cura, associando o efeito à baixa absorção de água e à boa interação entre matriz e agregado vítreo.

De modo complementar, Oliveira (2023) e Batista (2022) identificaram desempenho máximo entre 36% e 75% de vidro moído, com aumento de até 25% na resistência à compressão quando comparadas às argamassas convencionais.

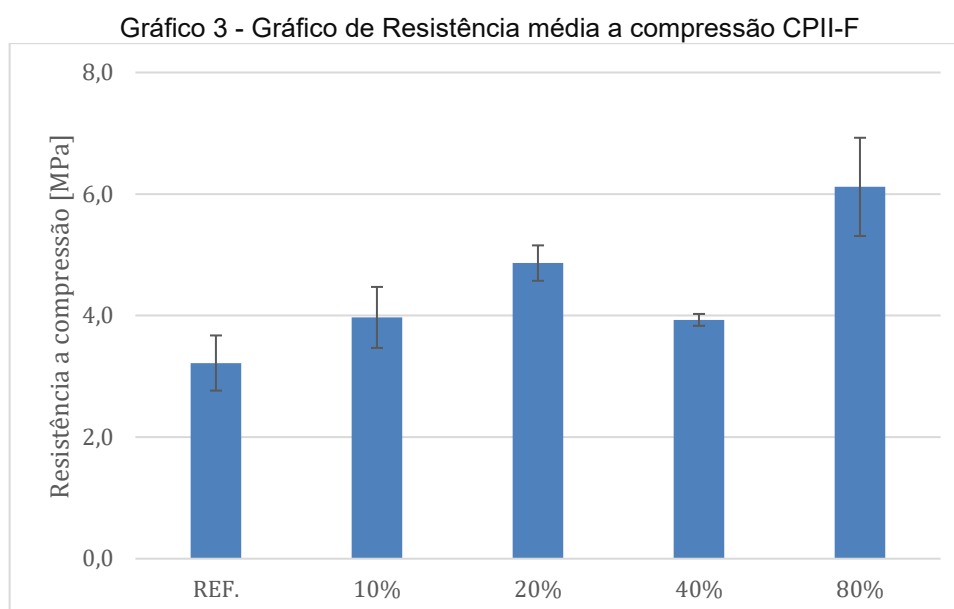
No presente estudo, as argamassas com 80% de vidro apresentaram resultados compatíveis ou superiores aos encontrados por esses autores, demonstrando que o material pode substituir o agregado natural de forma eficiente, desde que respeitados os limites de aplicação e controle da granulometria.

Além do ganho mecânico, o uso do vidro contribui para a redução da massa específica da argamassa e para o aproveitamento de um resíduo de difícil decomposição, atendendo aos princípios dos 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar) e às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).

Por fim, ressalta-se que a superfície lisa do vidro tende a reduzir a aderência interna da argamassa em baixos teores, o que explica a leve queda de resistência observada em 10% de substituição. Entretanto, em teores mais elevados, o empacotamento de partículas melhora a coesão e compensa essa perda inicial.



De modo geral, todas as argamassas ensaiadas apresentaram resistência superior a 2,0 MPa, valor mínimo exigido pela NBR 13749 (ABNT, 2013) para argamassas de revestimento e regularização, conforme mostra o gráfico 3. Portanto, todas as formulações são tecnicamente viáveis para aplicação como argamassas de contrapiso.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Nos traços com substituição de 10%, 20% e 40% da areia por vidro moído, o volume de cimento e de água mantém-se constante, preservando a relação A/C, enquanto o volume de areia diminui proporcionalmente à incorporação do vidro. Observa-se, nesses traços, um aumento gradual da densidade e redução da porosidade, o que contribui para maior durabilidade e resistência à abrasão da argamassa. Paralelamente, a trabalhabilidade sofre leve redução à medida que o teor



de vidro aumenta, devido à superfície mais lisa e menor aderência das partículas de vidro em relação à areia natural.

No traço com 80% de substituição, a relação A/C apresenta um leve aumento, atingindo aproximadamente 1,10 litros, devido à redução do volume de cimento e ao acréscimo de água. Essa alteração visa compensar a menor plasticidade da mistura provocada pelo alto teor de vidro, permitindo sua aplicação prática. Entretanto, essa proporção resulta em argamassa mais densa e pesada, com menor absorção de água e risco elevado de fissuração caso o controle da cura não seja rigoroso.

Em síntese, a substituição gradual da areia por vidro permite manter o volume total da argamassa, promover aumento da densidade e da durabilidade, enquanto a trabalhabilidade diminui progressivamente com o incremento do teor de vidro. Esses resultados evidenciam que, com ajustes adequados da relação água/cimento, o resíduo de vidro pode ser incorporado de forma eficiente, contribuindo para o desempenho estrutural e ambiental da argamassa.



7 CONCLUSÃO

O setor da construção civil é responsável por uma significativa parcela da produção de resíduos sólidos em escala global. Com o crescente foco em práticas sustentáveis, tornou-se fundamental repensar as formas de atuação nesse segmento. Assim, buscar alternativas que reduzam a quantidade de resíduos gerados nas obras é uma medida necessária para promover um desenvolvimento mais equilibrado e ambientalmente responsável.

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho mecânico de argamassas de regularização de contrapiso com a substituição parcial do agregado miúdo convencional por resíduo de vidro moído. A partir dos ensaios realizados, foi possível verificar que a incorporação do resíduo, em determinadas proporções, pode ser viável tanto do ponto de vista técnico quanto ambiental.

Os resultados indicaram que, as dosagens de 10%, 20% e 40% de substituição do agregado natural (areia) por vidro reciclado não comprometeu significativamente as propriedades mecânicas da argamassa, mantendo-se dentro dos limites aceitáveis para sua aplicação em camadas de regularização. Além disso, observou-se que o uso do resíduo contribui para a redução do consumo de recursos naturais não renováveis e para o reaproveitamento de um material que, de outra forma, seria descartado no meio ambiente.

Os ensaios de resistência à compressão evidenciaram um comportamento distintamente superior da argamassa produzida com 80% de substituição por resíduo de vidro em relação à amostra de referência. Enquanto a argamassa convencional apresentou resistência média de 4,66 MPa, o traço contendo 80% de vidro triturado atingiu 7,54 MPa, representando um aumento expressivo no desempenho mecânico. Esse resultado indica que a incorporação de resíduos vítreos, além de favorecer a sustentabilidade do processo construtivo, pode contribuir significativamente para o aprimoramento das propriedades resistentes da argamassa. Assim, a elevada resistência observada na proporção de 80% reforça seu potencial como alternativa tecnicamente vantajosa para aplicações em contrapisos.



REFERÊNCIAS

- ABCIC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Roadmap tecnológico do cimento no Brasil: Rumo a uma economia de baixo carbono.** São Paulo: SNIC; ABCP; VDZ; GIZ, 2019. Disponível em: https://coprocessamento.org.br/wpcontent/uploads/2019/11/Roadmap_Tecnologico_Cimento_Brasil_Book-1.pdf. Acesso em: 25 maio 2025.
- ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Boletim Técnico: Guia básico de utilização do Cimento Portland.** 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p.
- ABCP. **História do cimento.** *Portal ABCP.* Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/historia/>. Acesso em: 12 out. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248:** Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211:** Agregados para concreto – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7222:** Concreto – Determinação da resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778:** Argamassa – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9817:** Execução de piso com revestimento cerâmico – Procedimento, Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos, Rio de Janeiro: ABNT, 2005.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13529:** Cimento Portland - Determinação da finura pelo método da peneira. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14859-1:** Lajes pré-fabricadas de concreto – Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-3:** Requisitos para os sistemas de Pisos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 16697:** Cimento Portland — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16972:** Agregados – Determinação de massa unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em 27 out. 2025.

ALVES, A. P. M., MELO, M. de L. N. M., GONÇALVES, P. C., SANTOS, V. C. dos, Ribeiro, V. A. dos S., & Torres, R. G. (2022). **Análise da substituição da areia por resíduo de vidro no concreto autoadensável nas Propriedades Mecânicas e na Reatividade da Reação Álcali-agregado.** Research, Society and Development, 11(15), e366111537382. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.37382>

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H. **Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003. Anais. São Paulo: ANTAC, 2003.

BATISTA, Maria Clara; ALCÂNTARA, Patrícia F.; CASTRO, Luiza Maia de. **Utilização de resíduo de vidro reciclado no setor de construção civil: revisão.** *IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais*, v. 5, p. 1-023, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.1-023>



BAUER, E. et al. Estudo da consistência de argamassas pelo método de penetração estática de cone. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 95-105.

BOTELHO, Larissa Campos Granato; SIQUEIRA, Andréia Arenari de. **Estudo da produção e execução de argamassas de contrapiso**. *Matéria (Rio de Janeiro)*, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. e1384, 2022. DOI: 10.1590/S1517-707620220002.1384

Carasek, Helena. **Argamassas. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. ISAIA, GC (Organizador/Editor). São Paulo: IBRA CON, 2007.

CASTRO, V. G. **Cimento Portland**. In: **Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o Futuro**. Mossoró: EdUFERSA, 2021, pp. 13-21. ISBN: 978-65-87108-26-1. <https://doi.org/10.7476/9786587108612.0002>.

CEBRACE. **História do vidro**. *Enciclopédia do Vidro*. Disponível em: <https://www.cebrace.com.br/area-tecnica/enciclopedia-do-vidro/a-historia-do-vidro/>. Acesso em: 12 out. 2025.

CENCI, Charles Severo; TEMP, Aldo Leonel; VENQUIARUTO, Simone Dornelles; CANTES, Gabriella Ferreira Pereira. **Análise da viabilidade mecânica da utilização do vidro cominuído na produção de argamassas**. *ResearchGate*, 2019.

CHAPARRO, M. A. C. et al. **A importância da reciclagem do vidro para a natureza/ The importance of glass recycling for nature**. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 5, p. 50239–50246, 7 jun. 2021.

DONADEL, L.; SOARES, J.; SWAROWSKY, A. **Utilização de resíduos de garrafas de vidro long neck em substituição de areia em argamassa**. Anais - 5o Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Anais...Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais e de Saneamento, 2022.

FERREIRA, Vinícius Hunzicker. **Análise de propriedades mecânicas do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de vidro moído**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil de Infraestrutura) — Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, Joinville, 2025.

FREITAS, Cleverson de. **Argamassas de revestimento com agregados miúdos de britagem da região metropolitana de Curitiba: propriedades no estado fresco e endurecido**. 2010. Tese de Doutorado. MS thesis, Dept. Civ. Const., Federal Univ. of Paraná, Brazil.



ISAIA, G. C. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípio de Ciência e Engenharia de Materiais**. Vol. 1. ed. G. C. Isaia. São Paulo, IBRACON, 2007. p 772-779.

Kanning, Rodrigo César. **Utilização da cinza de folha de bananeira como adição em argamassas de cimento Portland**, 2013, Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 192 p.

LIRA, Matheus Oliveira. **Aplicação da MEV na investigação da distribuição de partículas de PET micronizado em argamassa para revestimento e assentamento**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2017.

LONDERO, C. et al. Determinação da densidade de empacotamento de sistemas granulares compostos a partir da areia normal do IPT: comparação entre modelos de otimização de distribuição granulométrica e composições aleatórias. *Cerâmica*. São Paulo, v.63, n.365, p.2333, mar.2017. DOI: 10.1590/0366-69132017633652018.

Ministério Da Saúde. Portaria de Consolidação n. 5, de 28 de setembro de 2017. Anexo XX – **Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Brasília, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Princípio dos 3Rs**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/principio-dos-3rs.html>. Acesso em: 13 nov. 2024.

MORAIS, Crislene Rodrigues da Silva. **Reaproveitamento e reciclagem de vidros: experiências em pesquisa**. Campina Grande - PB: EDUFCG, 2022. ISBN: 978-65-86302-61-5. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/29585>

MOREIRA, T. S.; COSTA, K. DE M.; ALMEIDA, R. C. **Análise do desempenho mecânico de concretos e argamassas mediante a substituição parcial da massa do agregado miúdo (areia) por vidro moído oriundo de garrafas de cerveja long neck**. RCT - Revista de Ciência e Tecnologia, v. 6, 2020.

OLIVEIRA, Nataniele Lins D. E.; MEDEIROS, Valdênia Porto. **Substituição parcial da areia pelo vidro moído na argamassa**. In: ANTAC, 2023.

POLEN. **Taxas de reciclagem no Brasil**. Crédito de Logística Reversa. Disponível em: <https://www.creditodelogisticareversa.com.br/post/taxas-de-reciclagem-no-brasil>. Acesso em: 12 out. 2025.



SANTOS, White José dos et al. **Argamassa de alto desempenho**. 2011.

SANTOS, Pâmela Rodrigues dos; CAVALHEIRO, Juliana Cordeiro; FERREIRA, Luiz Henrique; OLIVEIRA, André Luiz de; MENDES, Rafael da Silva. **Influência da incorporação de resíduo de lapidação de vidro nas propriedades mecânicas de concretos sustentáveis**. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, e-12433, 2024. DOI: 10.1590/S1517-707620240001.1601

SCHANKOSKI, Rudiele Aparecida. **Influência do tipo de argamassa nas propriedades mecânicas de alvenarias estruturais de blocos de concreto de alta resistência**. Florianópolis, 2012. 207 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

SILVA, João; De Brito, J.; Veiga, R. **Recycled red-clay ceramic construction and demolition waste for mortars production**. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 22, n. 3, p. 236244, 2010.

SILVA, Narciso Gonçalves da et al. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica**. 2011.

SIRTOLI, J. dos S. **Análise de desempenho do concreto com a substituição do concreto com a substituição parcial do agregado graúdo por resíduo de cerâmica vermelha**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava - PR, 2022, p. 1-66, 27 jun. 2022.

TINOCO, Vinicius Navarro Varela. **Análise da viabilidade técnica do uso de vidro moído como substituto do agregado miúdo na produção de concreto**. 2021.

Trentin, P. O., Manica, J., Vanzetto, S. C., Marangoni, B., & Zaleski, A. (2020). **Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa**. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 25(1), e-0903. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0903>

