



Viabilidade do Uso de Pó de Pedra em Argamassas como Substituto de Areia Natural

João Alexandre Paschoalin Filho

Professor Doutor, Programa de Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, Universidade Nove de Julho
paschoalinfilho@yahoo.com

Dara Meira da Costa

Engenheira Civil, Mestre em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, Universidade Nove de Julho
darameira30@gmail.com

Brenno Augusto Marcondes Versolato

Engenheiro Civil, Doutorando em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, Universidade Nove de Julho
brenno@geoconceitoengenharia.com.br

Recebido: 19 de junho de 2024

Aceito: 13 de setembro de 2024

Publicado online: 16 de novembro de 2024

DOI: [10.17271/1980082720420245235](https://doi.org/10.17271/1980082720420245235)

<https://doi.org/10.17271/1980082720420245235>

Licença

Copyright (c) 2024 Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista



Este trabalho está licenciado sob uma licença Creative Commons Attribution 4.0 International License

Viabilidade do Uso de Pó de Pedra em Argamassas como Substituto de Areia Natural

RESUMO

Este artigo demonstra a viabilidade técnica da substituição da areia natural por pó de pedra na dosagem de argamassas. Ensaios laboratoriais foram conduzidos para caracterizar amostras de areia e pó de pedra, um resíduo industrial proveniente de jazidas e pedreiras. Utilizando a proporção de 1:8 e relação água/cimento de 0,5, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 13.276, os materiais foram utilizados na dosagem de argamassas para assentamento e revestimento. Corpos de prova foram moldados e armazenados em câmara úmida por diferentes períodos de cura (7, 14 e 28 dias). Ensaios de compressão e verificação dos módulos de elasticidade foram conduzidos de acordo com as recomendações da ABNT NBR 7.215. Além disso, painéis experimentais foram construídos e revestidos com argamassas dosadas com areia e pó de pedra. Nesses, foram realizados ensaios de resistência à tração do revestimento. Os resultados indicaram que o pó de pedra pode substituir a areia natural na dosagem de argamassas para assentamento e revestimento de alvenarias. Em todos os períodos de cura estudados, os corpos de prova com pó de pedra apresentaram desempenho equivalente aos dosados com areia natural. Os módulos de elasticidade também mostraram valores estatisticamente semelhantes em ambas as dosagens. Portanto, a utilização de pó de pedra em substituição à areia natural oferece à construção civil uma alternativa sustentável, reduzindo o impacto ambiental ao utilizar resíduos da extração de rochas em vez de materiais naturais não renováveis.

Palavras-chave: Argamassa. Pó de Pedra. Resíduos Sólidos. Construção Civil

Feasibility of Using Stone Dust in Mortars as a Substitute for Natural Sand

ABSTRACT

This article demonstrates the technical feasibility of replacing natural sand with stone dust in mortar mixtures. Laboratory tests were conducted to characterize sand and stone dust samples, an industrial by-product originating from quarries. Using a 1:8 ratio and a water/cement ratio of 0.5, according to ABNT NBR 13.276, the materials were used for mortar mixtures for bricklaying and coating. Cylindrical specimens were molded and stored in a humid chamber for different curing periods (7, 14, and 28 days). Compression tests and verification of the elastic modulus were conducted following ABNT NBR 7.215 recommendations. Additionally, experimental panels were built and coated with mortar mixtures dosed with sand and stone dust. Tensile strength tests on the coating were conducted on these panels. The results indicated that stone dust can replace natural sand in mortar mixtures for bricklaying and coating. In all curing periods studied, the specimens with stone dust showed performance equivalent to those dosed with natural sand. The elastic modulus also showed statistically similar values in both mixtures. Therefore, using stone dust to replace natural sand offers the construction industry a sustainable alternative, reducing environmental impact by utilizing quarry by-products instead of non-renewable natural materials.

KEYWORDS: Mortar. Stone Dust. Solid Waste. Civil Construction.

Viabilidad del Uso de Polvo de Piedra en Morteros como Sustituto de Arena Natural

RESUMEN

Este artículo demuestra la viabilidad técnica de la sustitución de la arena natural por polvo de piedra en la dosificación de morteros. Se realizaron ensayos de laboratorio para caracterizar muestras de arena y polvo de piedra, un residuo industrial proveniente de yacimientos y canteras. Utilizando una proporción de 1:8 y una relación agua/cemento de 0,5, de acuerdo con la Asociación Brasileña de Normas Técnicas ABNT NBR 13.276, los materiales fueron empleados en la dosificación de morteros para mampostería y revestimiento. Se moldearon probetas y se almacenaron en cámara húmeda durante diferentes períodos de curado (7, 14 y 28 días). Los ensayos de compresión y verificación de los módulos de elasticidad se llevaron a cabo según las recomendaciones de la ABNT NBR 7.215. Además, se construyeron paneles experimentales y se revistieron con morteros dosificados con arena y polvo de piedra. En estos, se realizaron ensayos de resistencia a la tracción del revestimiento. Los resultados indicaron que el polvo de piedra puede sustituir la arena natural en la dosificación de morteros para mampostería y revestimiento. En todos los períodos de curado estudiados, las probetas con polvo de piedra mostraron un desempeño equivalente a las dosificadas con arena natural. Los módulos de elasticidad también presentaron valores estadísticamente similares en ambas dosificaciones. Por lo tanto, el uso de polvo de piedra en sustitución de arena natural ofrece a la construcción



civil una alternativa sostenible, reduciendo el impacto ambiental al utilizar residuos de la extracción de rocas en lugar de materiales naturales no renovables.

Palabras clave: Mortero. Polvo de Piedra. Residuos Sólidos. Construcción Civil.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é o setor industrial que mais consome recursos naturais e utiliza intensivamente energia, resultando em impactos ambientais significativos (Castanheira et al., 2016). Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) estabelecem uma agenda global para políticas públicas até 2030. O objetivo nove destaca a importância de Indústria, Inovação e Infraestrutura, enfatizando que edificações sustentáveis devem ser projetadas para serem resilientes e adaptáveis às mudanças climáticas.

Outro ponto relevante é o objetivo onze, que trata de Cidades e Comunidades Sustentáveis. Segundo a Organização das Nações Unidas - ONU (2022), atualmente 55% da população mundial vive em áreas urbanas, com a previsão de que essa proporção aumente para 70% até 2050. Portanto, é crucial garantir a sustentabilidade das comunidades e construções a longo prazo.

Além disso, o objetivo doze promove a economia circular, focando no consumo e produção responsáveis, eficiência energética, infraestrutura sustentável e acesso a serviços básicos. Este objetivo está diretamente relacionado à indústria da construção civil, que desempenha um papel vital na redução, reciclagem e reutilização de resíduos, alinhando-se aos princípios da economia circular.

A sustentabilidade na construção civil é de extrema importância, uma vez que o setor é responsável por grande parte da exploração de recursos naturais e da geração de resíduos. A construção de edificações consome grandes quantidades de materiais como cimento, cal, areia e outros agregados, cujos processos de extração e produção causam degradação ambiental, emissão de gases de efeito estufa e impactos significativos na biodiversidade. Além disso, o uso intensivo de energia no transporte e processamento desses materiais contribui para o aumento da pegada de carbono do setor. Para mitigar esses impactos, é essencial adotar práticas mais sustentáveis, como a redução do consumo de recursos não renováveis, o uso de materiais recicláveis e renováveis, e a implementação de tecnologias que aumentem a eficiência energética durante todo o ciclo de vida das construções.

Nesse contexto, a adoção de abordagens de construção sustentável, como a economia circular e o uso de materiais alternativos, torna-se uma necessidade urgente. Práticas como a reciclagem de resíduos de construção e demolição, o reaproveitamento de água e a utilização de fontes de energia renováveis são fundamentais para reduzir os impactos ambientais. O uso de agregados alternativos, como o pó de pedra, é um exemplo concreto de como a construção civil pode minimizar a exploração de recursos naturais, diminuindo a extração de areia, que é um recurso finito e frequentemente retirado de ecossistemas sensíveis. Assim, integrar esses materiais sustentáveis no processo construtivo contribui não só para a preservação ambiental, mas também para a criação de um setor mais resiliente e eficiente, em linha com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

A argamassa, composta por areia, cal e cimento, é um dos materiais mais utilizados na construção civil, sendo essencial para o desempenho das edificações. No entanto, seu uso causa impactos ambientais devido à produção e extração de seus componentes, que não são renováveis. Com a urbanização em crescimento, o consumo de materiais como a argamassa

tende a aumentar, tornando indispensáveis estratégias para minimizar os impactos ambientais de sua produção e torná-la mais sustentável (Caldas et al., 2019).

Segundo Damasceno (2016), "a sustentabilidade na construção civil pode ser alcançada explorando recursos naturais de maneira a minimizar os danos ao meio ambiente e às comunidades". Melhorar a gestão da produção de materiais de construção é fundamental para aumentar a sustentabilidade no setor e reduzir o consumo de recursos naturais e os impactos associados à sua fabricação, o que também pode diminuir os custos (Passuelo et al., 2014; Carvalho et al., 2018).

Uma maneira de promover a sustentabilidade na construção civil é incentivar o uso consciente dos materiais. Nesse contexto, destaca-se o uso do agregado alternativo pó de pedra. Diversos autores afirmam que as avaliações dos impactos ambientais dos materiais de construção devem considerar o ciclo de vida destes (Menossi, 2004; Mota et al., 2011; Huang et al., 2020; Hossain; Thomas, 2019). Os esforços para reduzir os impactos ambientais são urgentes, exigindo ações coletivas de empresas, governos e indivíduos para repensar o consumo e a produção, estabelecendo políticas e alterando práticas construtivas tradicionais (Barbieri et al., 2010).

Este artigo foca em práticas construtivas, abordando a conceituação e análise do pó de pedra como agregado alternativo para substituir a areia natural na dosagem de argamassas. A hipótese é que o uso de argamassas com pó de pedra, em vez de areia natural, pode ser uma alternativa ambientalmente eficiente, considerando aspectos econômicos e técnicos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Utilização de materiais alternativos na construção civil

Os recursos naturais, em sua maioria, não são renováveis, por isso o meio técnico se empenha em encontrar alternativas para substituí-los (ou mitigar seu uso) sem comprometer a qualidade, segurança e economia das obras civis (Cortese et al., 2017). Nesse contexto, a criação de materiais alternativos tem ganhado destaque nos últimos vinte anos. A busca por soluções alinhadas aos conceitos de crescimento sustentável tem sido um desafio, uma vez que a sustentabilidade das atividades econômicas é uma necessidade latente (Mansur et al., 2005; Carvalho et al., 2018).

Várias pesquisas têm focado na análise dos componentes e comportamentos dos materiais alternativos, incluindo composição química, tamanho, forma, resistência mecânica e interfaces (Diógenes, 2016). O desenvolvimento de técnicas de reuso e reciclagem baseia-se no conhecimento das características físico-químicas dos resíduos, permitindo a determinação de suas propriedades e, posteriormente, sua incorporação em diferentes materiais (Antunes, 2020).

A interação das novas metodologias construtivas com a natureza é um tema crucial, que deve ser abordado não apenas por profissionais da engenharia civil, mas por toda a sociedade que se beneficia dos produtos da construção civil (Bitsiou; Giarma, 2020). Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável são conceitos que, com impacto positivo, estão se tornando progressivamente mais comuns na avaliação de processos e novos métodos executivos (Passuelo et al., 2019; Oliveira; Souza, 2021).

2.2 Argamassas

A argamassa é um material de construção composto por uma mistura homogênea de aglomerantes (cimento ou cal), agregado miúdo (areia) e água. Podem ser adicionados aditivos ou adições especiais para melhorar ou conferir propriedades específicas ao material.

O desempenho da argamassa depende de suas características nos estados plástico e endurecido. No estado plástico, deve apresentar boa trabalhabilidade para facilitar o assentamento dos blocos e capacidade de retenção de água adequada para garantir a hidratação do cimento. Já no estado endurecido, as características desejadas incluem resistência à compressão adequada e boa aderência ou resistência ao cisalhamento.

A argamassa deve reter a água de amassamento, que tanto lubrifica os materiais secos quanto garante a hidratação do cimento. As propriedades do estado plástico estão intimamente ligadas às do estado endurecido. A resistência à compressão da argamassa deve ser de no mínimo 1,5 MPa (Passuelo et al., 2019). O Quadro 1 apresenta um resumo das características esperadas das argamassas conforme as normas técnicas de referência.

Quadro 1 - Resumo de requisitos para produção de argamassas.

| Características | Requisito | Norma |
|--------------------------|--------------------------------------|----------------|
| Trabalhabilidade | Uma consistência padrão de 255±10 mm | ABNT NBR 13276 |
| Resistência à compressão | Deve ser especificada no projeto. | ABNT NBR 13279 |
| Resistência de aderência | Deve ser especificada no projeto. | ASTM E518 |
| Retenção de água | 80% < normal < 90% | ABNT NBR 13277 |
| | 90% < alta | |
| Teor de ar incorporado | Grupo a < 8% | ABNT NBR 13278 |
| | 8% < Grupo b < 18% | |
| | 18% < Grupo c | |

Fonte: Adaptado a partir de Antunes (2020) e Tokarski (2017).

2.3 Argamassa obtida por meio da dosagem com pó de pedra

O pó de pedra é originado da britagem de rochas, onde algumas frações se desprendem de maneira irregular, adquirindo uma granulometria inferior à usual. A utilização desse resíduo como agregado miúdo na argamassa, seja por razões econômicas ou por aspectos de durabilidade, tem ganhado visibilidade não só pelas vantagens ambientais, mas também pelos benefícios econômicos. Isso possibilitou às jazidas comercializarem um resíduo sem outrora valor, que anteriormente causava transtornos de estocagem e impacto ambiental, transformando-o em um produto mais acessível do que os agregados convencionais (Menossi, 2004).

Devido à sua granulometria fina, o pó de pedra pode ser empregado em calçadas e asfaltos, na fabricação de pré-moldados e na confecção de argamassa para assentamento, servindo também como estabilizador de solo na construção de contrapisos. Quando bem controlado, pode ser utilizado na dosagem de concreto para aumentar sua resistência. Sua granulometria é composta por partículas com diâmetro variando entre 0,5 mm e 5 mm (Menossi, 2004).

2.4 Pesquisas conduzidas com argamassa alternativas

O uso de agregados reciclados na construção civil tem aumentado com o objetivo de reduzir os custos e mitigar os impactos ambientais decorrentes do uso de materiais naturais (Passuelo, 2019; Habert et al., 2020). Santos et al. (2014) discutem a utilização de argamassas de revestimento e assentamento dosadas com areia artificial em vez de material extraído de jazidas. Os autores concluíram que o tipo de agregado influencia significativamente as propriedades das argamassas e que é necessária uma metodologia de dosagem que considere esses preceitos para obter argamassas mistas de qualidade e com características técnicas adequadas às normas pertinentes.

Antunes (2020) analisou a substituição parcial (50%) e total (100%) da areia natural por areia granítica na dosagem de argamassa de revestimento com traço 1:1:6 (cimento, cal e areia). Os resultados mostraram que as argamassas com areia granítica apresentaram maior absorção por capilaridade e resistência mecânica em comparação com a argamassa de areia natural, indicando que a forma angulosa do grão granítico influenciou as propriedades analisadas.

Tokarski (2017) estudou o material obtido da britagem de rocha calcária na dosagem de argamassa de revestimento. Foram ensaiadas cinco composições de traço: a primeira com 100% areia natural (referência), a segunda com 80% areia natural e 20% de resíduo de britagem, a terceira com 60% areia natural e 40% de resíduo de britagem, a quarta com 40% areia natural e 60% de resíduo de britagem, e a quinta com 20% areia natural e 80% de resíduo de britagem. Os traços utilizados, compostos de cimento, areia, água e aditivo, foram ensaiados nos estados fresco e endurecido. Os traços com resíduo de britagem de rocha calcária apresentaram melhores desempenhos que o traço de referência com areia natural. O traço com 60% de areia natural e 40% de resíduo de britagem demonstrou melhor desempenho em 70% dos ensaios realizados, com uma curva granulométrica dentro das exigências normativas (TOKARSKI, 2017).

Diógenes (2016) avaliou a viabilidade técnica da substituição de areia de leito de rio por resíduo de britagem (pó de pedra) na confecção de argamassas de revestimento, bem como a influência do teor de material pulverulento e de água nas propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido. Utilizando três tipos de pó de pedra de pedreiras da Região Metropolitana de Fortaleza, a pesquisa constatou a possibilidade de uso deste material em substituição à areia natural no teor de 25%, resultando em melhor trabalhabilidade, menor consumo de água e aumento da resistência mecânica.

Caldas et al. (2019) realizaram Avaliação do Ciclo de Vida para comparar os impactos ambientais de três alternativas de argamassa com resíduos de cerâmica vermelha (RCV) em substituição ao cimento Portland, com partículas de 30 μm , 10 μm e 1 μm , em teores de 10% e 20%. A argamassa convencional com cimento Portland e areia foi utilizada como base de comparação. Os resultados mostraram que a mistura com 20% de substituição de cimento por RCV de 10 μm apresentou resistência à compressão e durabilidade satisfatórias, além de menores impactos ambientais.

Portanto, tendo em vista a importância da problemática apresentada, bem como o interesse do meio técnico e científico em relação ao estudo de materiais alternativos para dosagem de argamassas, o próximo item traz os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa.

3 METODOLOGIA

Para a condução dos ensaios, foram utilizados 20 kg de areia natural, 20 kg de pó de pedra e 50 kg de cimento Portland CII F-32. As amostras foram secas ao ar livre, à sombra, e posteriormente quarteadas e homogeneizadas. Os ensaios de caracterização das amostras foram realizados no Laboratório de Construção Civil da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), seguindo os procedimentos estabelecidos para cada material conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O pó de pedra foi proveniente de uma pedreira no município de Santa Isabel, no bairro Morro Grande. Por se tratar de um agregado candidato à substituição da areia natural, foram seguidos os mesmos procedimentos de preparo e caracterização aplicados à areia.

A areia natural média foi previamente seca em estufa para evitar interferências na relação água/cimento na dosagem das argamassas. A massa específica do agregado miúdo foi determinada conforme os procedimentos da ABNT NBR NM 52, enquanto sua granulometria, módulo de finura e dimensão máxima característica foram definidos de acordo com a ABNT 13.276, e a massa unitária conforme a ABNT NBR NM 45.

A ABNT NBR NM 248 foi utilizada para determinar a composição granulométrica das amostras, obtendo-se a porcentagem média retida em cada peneira, a porcentagem acumulada, a dimensão característica e o módulo de finura. A massa específica dos agregados miúdos foi calculada usando o frasco de Chapman, seguindo a expressão:

$$Y = \frac{500}{L - 200} \quad (1)$$

Em que:

Y — massa específica do agregado miúdo deve ser expressa;

L — leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

Também foi determinada a massa específica aparente natural dos agregados miúdos, conforme a ABNT NBR NM 45. Sabe-se que a massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis. A massa específica do cimento foi determinada por meio do método do frasco de Le Chatelier. A massa específica do cimento foi calculada utilizando-se a equação (2):

$$Y = \frac{m}{V_2 - V_1} \quad (2)$$

Em que:

Y — massa específica do cimento;

V₂ — leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto álcool-cimento);

V₁ — leitura inicial do frasco.

A preparação da argamassa foi realizada conforme a ABNT NBR 13.276, utilizando traço de 1:8 e relação água/cimento (a/c) de 0,5. Foram moldados 48 corpos de prova cilíndricos com altura de 10 cm e diâmetro de 5 cm (L=2D), utilizando tanto a argamassa convencional (com areia) quanto a dosada com pó de pedra, seguindo as recomendações da ABNT NBR 7215.

Todos os corpos de prova foram inicialmente armazenados em uma câmara com umidade relativa mínima do ar de 95% para a cura inicial. Em seguida, foram desmoldados e imersos em água até as idades de ensaio (7, 14 e 28 dias). Antes de serem submetidos aos

ensaios de compressão, foi realizado um teste de ultrassom nos corpos de prova para verificar a presença de microfissuras internas ou descontinuidades que poderiam influenciar os resultados, conforme recomendado pela ABNT NBR 8802. A Tabela 1 apresenta a quantidade de corpos de prova moldados para esta pesquisa.

Tabela 1- Quantidade de corpos de prova x idade de rompimento

| Material | 7 dias | 14 dias | 28 dias |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|
| Areia | 5 | 5 | 5 |
| Pó de pedra | 5 | 5 | 5 |
| Areia Saturada | 3 | 3 | 3 |
| Pó de pedra saturada | 3 | 3 | 3 |
| Total | 16 | 16 | 16 |

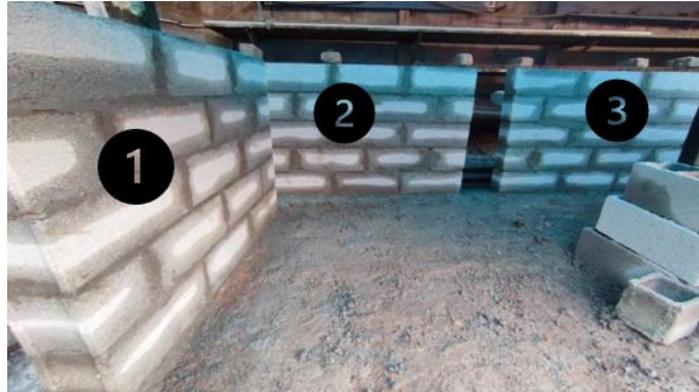
Fonte: Dados da pesquisa

Após a verificação da integridade dos corpos de prova, foram realizados ensaios de compressão utilizando uma prensa axial do tipo EMIC — GR48, instalada no laboratório de ensaios de materiais de construção da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas. Os procedimentos seguiram as recomendações da ABNT NBR 7215. Além da resistência à compressão simples, foram determinados os módulos de elasticidade de alguns corpos de prova. Para isso, foram utilizados sensores acoplados a esses que mediram as deformações horizontais e verticais durante o carregamento.

Painéis experimentais foram construídos para determinar a resistência à tração das argamassas dosadas com areia e pó de pedra. As dimensões dos painéis foram de 1,0 m de altura por 1,20 m de comprimento. Eles foram compostos por blocos de concreto assentados com argamassa experimental misturada com pó de pedra e areia. A dosagem da argamassa seguiu a proporção de 1 parte de cimento para 8 partes de agregado (pó de pedra ou areia), conforme os requisitos normativos.

Os painéis 1 e 2 foram construídos com blocos de concreto assentados com argamassa misturada com areia natural, enquanto o painel 3 foi construído utilizando argamassa misturada com pó de pedra. A Figura 1 apresenta os painéis construídos. Os painéis foram revestidos conforme apresentado na Tabela 2. As dosagens (cimento: agregado) utilizadas para cada camada de revestimento foram: a) Chapisco – 1:3; b) Reboco – 1:8. A relação água/cimento utilizada foi de 0,5. As Figuras 2 e 3 mostram os painéis após o revestimento. Após essa etapa, os painéis experimentais foram mantidos por 28 dias para a cura da argamassa.

Figura 1 - Painéis construídos para determinação da resistência à tração.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela 2 - Características de revestimento dos painéis experimentais

| Painel | Revestimento |
|--------|--|
| 1 | Chapisco (e=5mm) |
| 2 | Chapisco (e=5mm) + 1 camada de reboco (e=15mm) |
| 3 | Chapisco (e=5mm) + 2 camadas de reboco (e1=15mm, e2=5mm) |

Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 2 - Painéis revestidos com camada de chapisco



Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 3 - Painéis 2 e 3 revestidos com camadas de reboco



Fonte: Dados da Pesquisa.

Ao final do tempo de cura, testes de resistência à tração foram realizados de acordo com os requisitos da ABNT NBR 13528-2/2019. Para cada face do painel, foram realizados três testes; dessa forma, nove testes foram executados. Como resultado, os valores de resistência à tração

da argamassa foram calculados de acordo com a equação 3. A Tabela 3 apresenta os valores mínimos de resistência à tração da argamassa de acordo com seu uso; esses valores são reportados pela ABNT NBR 13749/2013.

$$Pa = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Onde:

Pa = resistência à tração (MPa);

P = carga máxima (N);

A = área da amostra (mm²).

Tabela 3 - Resistência mínima à tração das argamassas para uso interno e externo.

| Area | Revestimento | Qa (MPa) |
|---------|------------------|----------|
| Interna | Base de reboco | ≥ 0.20 |
| | Base de chapisco | ≥ 0.20 |
| Externa | Base de reboco | ≥ 0.30 |
| | Base de chapisco | ≥ 0.30 |

Fonte: Adaptado de ABNT: NBR 13749.

4 RESULTADOS OBTIDOS

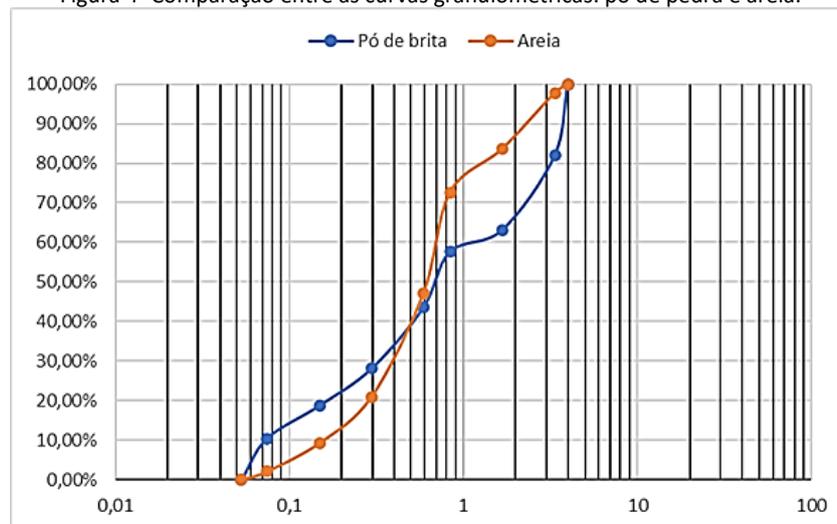
Os pesos específicos determinados para as amostras de pó de pedra e areia natural estão apresentados na Tabela 4, enquanto a distribuição granulométrica encontra-se na Figura 4.

Tabela 4- Características granulométricas das amostras ensaiadas

| Característica | Pó de brita | Areia | Cimento |
|---|-------------|-------|---------|
| Peso específico natural (kN/m ³) | 26,9 | 26 | --- |
| Peso específico aparente (kN/m ³) | 17,1 | 15,1 | 29,3 |

Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 4- Comparação entre as curvas granulométricas: pó de pedra e areia.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Dessa forma, com base nas curvas determinadas, pode-se identificar as características das amostras ensaiadas demonstradas na Tabela 5.

Tabela 5- Características granulométricas das amostras ensaiadas

| Areia | | Pó de brita | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| D ₁₀ | 0,15 mm | D ₁₀ | 0,15 mm |
| D ₃₀ | 0,30 mm | D ₃₀ | 0,30 mm |
| D ₆₀ | 0,70 mm | D ₆₀ | 1,0 mm |
| Cc | 0,85 | Cc | 0,60 |
| Gradação | Bem graduada | Classificação | Bem graduada |
| Granulometria | Fina a grossa | Gradação | Fina a grossa |

Fonte: Dados da Pesquisa

No intuito de constatar que os corpos de prova não possuíam fissuras internas que poderiam influenciar na resistência à compressão, estes foram submetidos a ensaios de ultrassom. Os resultados são demonstrados na Tabela 6:

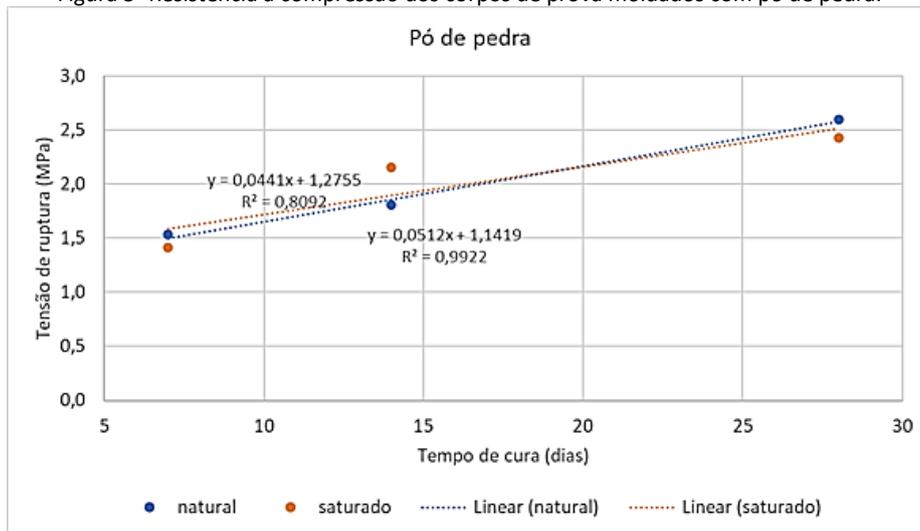
Tabela 6- Velocidades de propagação ultrassônica (VPU) para corpos de prova moldados com areia e pó de pedra.

| Areia | | | |
|----------------|-------------|-------------|-------------|
| Característica | 7 dias | 14 dias | 28 dias |
| Não Saturado | 3539,6 m/s | 3655,56 m/s | 3782,16 m/s |
| Saturado | 33423,6 m/s | 4032,32 m/s | 4342,6m/s |
| Pó de pedra | | | |
| Característica | 7 dias | 14 dias | 28 dias |
| Não Saturado | 2992,4 m/s | 3279,02 m/s | 3387,08 m/s |
| Saturado | 3552,86 m/s | 4422,46 m/s | 4447,46 m/s |

Fonte: Dados da Pesquisa.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 6, pode-se constatar que as velocidades aferidas se mantiveram acima de 3.000 m/s, valor esperado para atestar a boa qualidade da cura dos corpos de prova e a inexistência de microfissuras internas que pudessem comprometer a resistência à compressão. Verifica-se também que, para ambas as dosagens, os valores de VPU aumentaram com o tempo de cura dos corpos de prova. Após a caracterização das amostras, moldagem, cura dos corpos de prova e ensaios de VPU, foram obtidos os valores de resistência à compressão para as idades de 7, 14 e 28 dias. Os resultados médios estão apresentados nas Figuras 5 e 6.

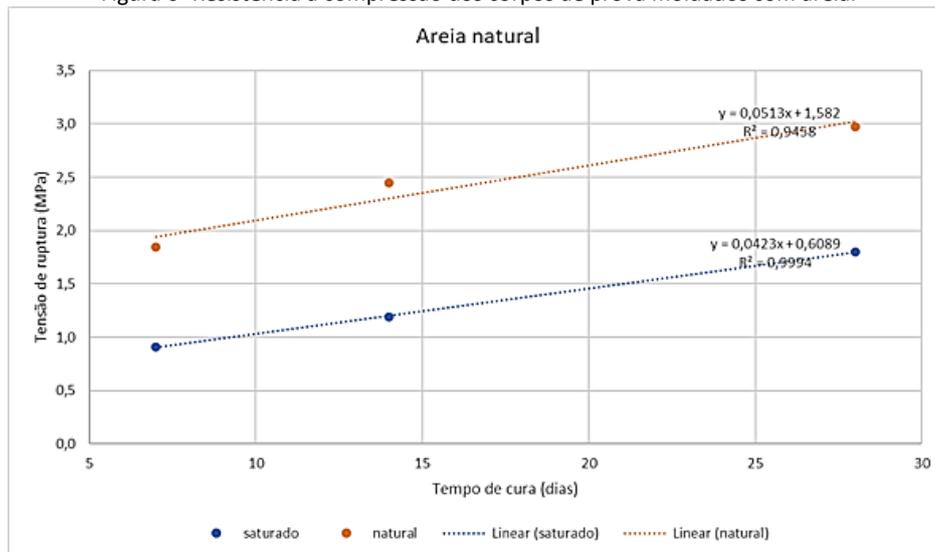
Figura 5- Resistência a compressão dos corpos de prova moldados com pó de pedra.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Por meio da Figura 5, pode-se constatar que os corpos de prova apresentaram resistências à compressão crescentes com o tempo de cura e que esta pode ser representada por relações lineares bem ajustadas ($R^2=0,80$ e $R^2=0,99$). Verifica-se que os valores de resistência, tanto no estado saturado quanto no seco, apresentaram-se semelhantes. A seguir, são apresentados os valores de resistência à compressão determinados para os corpos de prova dosados com areia natural.

Figura 6- Resistência a compressão dos corpos de prova moldados com areia.



Fonte: Dados da Pesquisa.

Da mesma forma que observado para os corpos de prova dosados com pó de pedra, as resistências à compressão demonstradas na Figura 6 apresentaram aumento com o tempo de cura. Tanto a resistência no estado seco quanto no estado saturado mostrou uma relação linear com o tempo, bem ajustada, conforme os valores de coeficiente de correlação obtidos ($R^2 = 0,94$ e $R^2 = 0,99$). Todavia, os corpos de prova apresentaram resultados de resistência à compressão distintos ao comparar os estados seco e saturado, diferentemente dos ensaios conduzidos com os corpos de prova dosados com pó de brita.

Contudo, observa-se que, para ambas as dosagens estudadas, as resistências à compressão (em qualquer idade de cura) foram superiores ao mínimo estabelecido pela ABNT NBR 13.749, que é 1,5 MPa. A Tabela 7 apresenta a correlação entre VPU e a máxima resistência à compressão obtida para ambas as dosagens após 28 dias de cura.

Tabela 7- Correlações obtidas entre VPU e resistência a compressão (28 dias)

| Análise | R (Pearson) | Observação |
|---------------|-------------|---------------------------|
| VPU x Rcareia | +0,857 | Forte correlação positiva |
| VPU x Rcopp | +0,700 | Forte correlação positiva |

Fonte: Dados da Pesquisa.

Segundo a Tabela 7, observa-se que, para ambas as dosagens, há uma forte correlação positiva entre VPU e resistência à compressão aos 28 dias. Isso significa que altos valores de VPU tendem a corresponder a maiores resistências à compressão. Os módulos de elasticidade

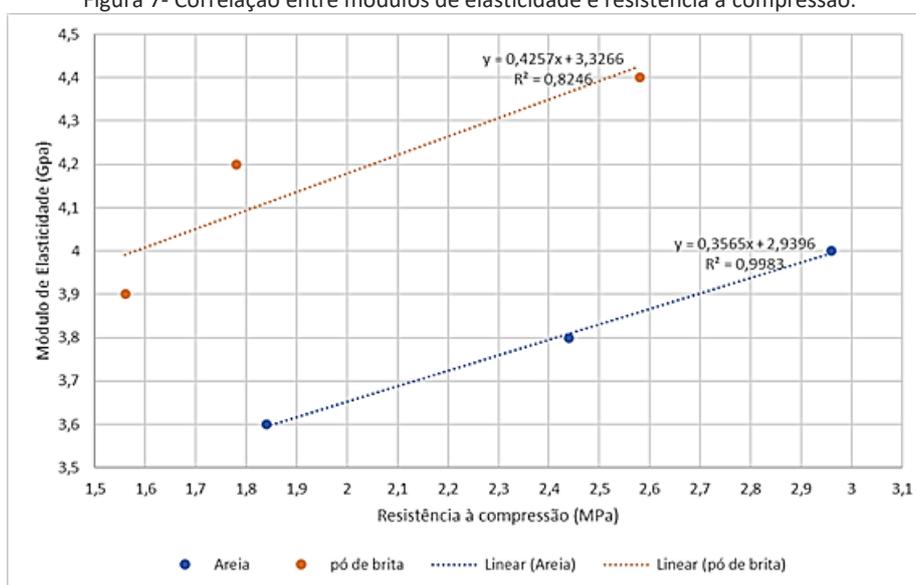
médios para cada período de cura são apresentados na Tabela 8, enquanto a Figura 7 mostra uma comparação das correlações entre resistências à compressão e módulos de elasticidade.

Tabela 8- Módulos de elasticidade determinados para os diferentes tempos de cura: pó de pedra e areia

| Argamassa dosada com Areia | | | | | |
|----------------------------------|--------|---------|---------|------------------|----------------|
| Característica | 7 dias | 14 dias | 28 dias | regressão | R ² |
| Módulo de elasticidade (GPa) | 3,6 | 3,8 | 4,0 | y=0,217x+3,355 | 0,99 |
| Argamassa dosada com Pó de pedra | | | | | |
| Característica | 7 dias | 14 dias | 28 dias | regressão | R ² |
| Módulo de elasticidade (GPa) | 3,9 | 4,2 | 4,4 | y=0,2576x+3,6231 | 0,96 |

Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 7- Correlação entre módulos de elasticidade e resistência a compressão.



Fonte: Dados da Pesquisa.

A Tabela 8 demonstra que os módulos de elasticidade variaram entre 3,9 e 4,4 GPa, com uma tendência de aumento ao longo do tempo de cura. A Figura 7 apresenta relações lineares bem ajustadas entre os módulos de elasticidade e as resistências à compressão, considerando todas as idades de cura. Os valores dos módulos de elasticidade e suas correlações lineares com as resistências à compressão estão dentro dos parâmetros estabelecidos por Miranda (2000) e Mohamad et al. (2009), considerando diferentes traços estudados. Na Tabela 9 são apresentados os coeficientes de Poisson obtidos para as argamassas ensaiadas.

Tabela 9- Coeficientes de Poisson obtidos para as amostras ensaiadas.

| CP | v | Desvio Padrão | Cv (%) | v Intervalo máximo* | v Intervalo mínimo* | v máximo | v mínimo |
|----------------------------------|------|---------------|--------|---------------------|---------------------|----------|----------|
| Argamassa dosada com Areia | 0,21 | 0,05 | 23,8 | 0,25 | 0,17 | 0,28 | 0,12 |
| Argamassa dosada com Pó de pedra | 0,24 | 0,10 | 41,6 | 0,31 | 0,16 | 0,40 | 0,14 |

Fonte: Dados da Pesquisa.

O coeficiente de Poisson é a relação entre a deformação transversal e a longitudinal. Nos ensaios de ruptura realizados após 28 dias de cura, os coeficientes de Poisson obtidos para os corpos de prova dosados com areia e pó de pedra foram, respectivamente, 0,21 e 0,24. Esses valores estão em conformidade com os apresentados por Tokarski (2017), que indica que o coeficiente de Poisson típico para argamassas varia entre 0,15 e 0,25. As tabelas 10, 11 e 12 apresentam os valores médios de resistência à tração encontrados para cada painel.

Tabela 10 - Resistência à tração obtida para o painel 1 (1 camada de revestimento de chapisco)

| Condição | Dosagem | Qr Média (MPa) | Sd | Cv (%) | Qr (MPa) Intervalo máximo | Qr (MPa) Intervalo mínimo | Qr (MPa) Máximo# | Qr (MPa) Mínimo& |
|----------------------------------|-------------|----------------|-------|--------|---------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Argamassa dosada com Areia | Areia | 0,30 | 0,002 | 1,81 | 0,35 | 0,25 | 0,38 | 0,22 |
| Argamassa dosada com Pó de pedra | Pó de pedra | 0,35 | 0,046 | 20,0 | 0,38 | 0,20 | 0,40 | 0,20 |

Onde: Qr = resistência à tração da camada de chapisco; Desvio padrão; Coeficiente de variação, * intervalo médio obtido para nível de confiança de 95%; # = valor máximo obtido; &= valor mínimo obtido. Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela 11 - Resistência à tração obtida para o painel 2 (1 camada de chapisco + 1 camada de reboco)

| Condição | Dosagem | Qr Média (MPa) | Sd | Cv (%) | Qr (MPa) Intervalo máximo | Qr (MPa) Intervalo mínimo | Qr (MPa) Máximo# | Qr (MPa) Mínimo& |
|----------------------------------|-------------|----------------|-------|--------|---------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Argamassa dosada com Areia | Areia | 0,59 | 0,059 | 10,0 | 0,74 | 0,44 | 0,65 | 0,53 |
| Argamassa dosada com Pó de pedra | Pó de pedra | 0,62 | 0,015 | 2,42 | 0,66 | 0,60 | 0,64 | 0,61 |

Onde: Qr = resistência à tração da camada de chapisco; Desvio padrão; Coeficiente de variação, * intervalo médio obtido para nível de confiança de 95%; # = valor máximo obtido; &= valor mínimo obtido. Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela 12 - Resistência à tração obtida para o painel 3 (1 camada de chapisco + 2 camadas de reboco)

| Condição | Dosagem | Qr Média (MPa) | Sd | Cv (%) | Qr (MPa) Intervalo máximo | Qr (MPa) Intervalo mínimo | Qr (MPa) Máximo# | Qr (MPa) Mínimo& |
|----------------------------------|-------------|----------------|-------|--------|---------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Argamassa dosada com Areia | Areia | 0,65 | 0,061 | 9,40 | 0,80 | 0,50 | 0,69 | 0,58 |
| Argamassa dosada com Pó de pedra | Pó de pedra | 0,65 | 0,046 | 7,07 | 0,77 | 0,54 | 0,71 | 0,63 |

Onde: Qr = resistência à tração da camada de chapisco; Desvio padrão; Coeficiente de variação, * intervalo médio obtido para nível de confiança de 95%; # = valor máximo obtido; &= valor mínimo obtido. Fonte: Dados da Pesquisa.

Conforme mostrado nas Tabelas 10 a 12, a resistência à tração dos três painéis foi tão próxima que não houve diferença significativa entre o uso de pó de pedra ou areia para revestir paredes. Portanto, pode-se afirmar que os valores médios de resistência à tração das argamassas, tanto com areia quanto com pó de pedra, excedem os valores mínimos apresentados na Tabela 3, ou seja, ambas as dosagens apresentam resistência à tração suficiente de acordo com os requisitos da Norma Técnica Brasileira.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para se analisar os resultados e estabelecer comparativos entre os parâmetros médios obtidos considerando as argamassas dosadas com areia e pó de pedra foram conduzidas análises estatísticas utilizando-se o teste T-Pareado, o qual foi baseado nas seguintes hipóteses:

- Hipótese h_0 (nula) = as diferenças entre as variáveis é 0 ($p > 0,05$);
 - Hipótese h_1 = existe diferença entre as variáveis ($p < 0,05$).
- As análises são apresentadas na sequência.

A Tabela 13 traz a comparação entre as médias obtidas.

Tabela 13- Comparação entre as resistências a compressão médias obtidas (amostras não saturadas)

| Análise | p | Observação |
|------------------------|---------------|---|
| RCa7dias x RCpp7dias | 0,031 (<0,05) | As médias diferem-se entre si |
| RCa14dias x RCpp14dias | 0,119 (>0,05) | Não há diferença entre as médias obtidas. |
| RCa28dias x RCpp28dias | 0,128 (>0,05) | Não há diferença entre as médias obtidas. |

Fonte: Dados da Pesquisa.

Conforme a Tabela 13, verifica-se que apenas as médias de resistência à compressão aos 7 dias de cura, obtidas para os corpos de prova dosados com areia e pó de brita, apresentaram diferenças estatísticas. Aos 14 e 28 dias de cura, as resistências médias não mostraram diferenças estatísticas significativas. A comparação entre as médias dos módulos de elasticidade é apresentada na Tabela 14, especificamente para o tempo de cura de 28 dias. O comparativo entre os coeficientes de Poisson é mostrado na Tabela 15.

Tabela 14- Comparação entre os módulos de elasticidade aos 28 dias (amostras não saturadas)

| Análise | p | Observação |
|----------------------|--------------|---|
| Epp28dias x Ea28dias | 0,49 (>0,05) | Não há diferença entre as médias obtidas. |

Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela 15- Comparação entre os coeficientes de Poisson (amostras não saturadas)

| Análise | p | Observação |
|----------------------|--------------|---|
| vpp28dias x va28dias | 0,43 (>0,05) | Não há diferença entre as médias obtidas. |

Fonte: Dados da Pesquisa.

As tabelas apresentadas indicam que os valores dos módulos de elasticidade e dos coeficientes de Poisson não demonstraram diferenças estatísticas significativas para ambas as dosagens estudadas. Esses resultados indicam que o pó de pedra pode substituir a areia natural sem comprometer as propriedades mecânicas essenciais das argamassas. Estudos como os de Antunes (2020) e Menossi (2004) já haviam sugerido a viabilidade do uso de agregados alternativos na construção civil, e os resultados do presente estudo reforçam essa hipótese.

Além disso, foi realizado um Teste T para verificar se as diferenças encontradas nas resistências ao arranque dos painéis eram estatisticamente significativas. Os resultados estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Comparação estatística entre a resistência à tração encontrada para cada painel.

| Análise | p | Observação |
|-------------------------------|---------------|--|
| Qr pó de pedra x Qr areia | 0.056 (>0.05) | Não há diferença estatística entre as médias |
| Qrp pó de pedra x Qrp areia | 0.47 (>0.05) | Não há diferença estatística entre as médias |
| Qrpp pó de pedra x Qrpp areia | 0.86 (>0.05) | Não há diferença estatística entre as médias |

Fonte: Dados da Pesquisa.

Comparando as resistências à tração (apresentadas na Tabela 16) entre os painéis construídos com argamassas dosadas com pó de pedra e areia, constata-se que não há diferenças estatísticas significativas entre as resistências à tração das argamassas, independentemente do tipo de agregado utilizado. Isso sugere que tanto a areia quanto o pó de pedra proporcionam desempenhos equivalentes em termos de resistência à tração.

Portanto, constata-se que os testes de resistência à tração realizados nos painéis experimentais demonstraram que as argamassas com pó de pedra e areia natural apresentaram desempenhos semelhantes. Estudos anteriores, como os de Santos et al. (2014), também relataram que a substituição parcial da areia natural por agregados alternativos não compromete a resistência à tração das argamassas.

Os resultados do estudo sobre a substituição da areia natural por pó de pedra nas argamassas indicam importantes implicações técnicas e ambientais para a construção civil. A substituição da areia natural pelo pó de pedra reduz a pressão ambiental sobre ecossistemas sensíveis, como leitos de rios, ao evitar a extração de areia natural. Isso favorece a adoção de práticas alinhadas à economia circular, promovendo o reaproveitamento de resíduos industriais.

Tecnicamente, as argamassas com pó de pedra mostraram desempenho equivalente em termos de resistência à compressão e tração, em conformidade com as normas técnicas vigentes. Essa equivalência garante que o uso do pó de pedra não comprometa a durabilidade ou a segurança estrutural, mantendo o desempenho mecânico adequado para aplicações em alvenaria e revestimento, consolidando o pó de pedra como uma alternativa viável e sustentável.

6 CONCLUSÕES

Este estudo comprovou a viabilidade técnica da substituição integral da areia natural por pó de pedra na produção de argamassas para assentamento e revestimento, oferecendo uma alternativa sustentável e eficaz para a construção civil. A caracterização dos materiais e os ensaios realizados mostraram que o pó de pedra apresenta as propriedades físicas necessárias para sua utilização como agregado miúdo, destacando-se pela granulometria adequada e pelo comportamento mecânico comparável ao da areia natural. Os resultados indicaram que, em qualquer tempo de cura estudado, os corpos de prova moldados com pó de pedra apresentaram desempenho equivalente ou superior aos dosados com areia natural. Em termos de resistência à compressão, os corpos de prova com pó de pedra alcançaram valores similares aos moldados com areia natural, mantendo-se dentro dos parâmetros normativos exigidos. A resistência à compressão, testada aos 7, 14 e 28 dias, foi consistentemente alta, com valores superiores ao mínimo estabelecido pela ABNT NBR 13.749, de 1,5 MPa. Especificamente aos 28 dias, os corpos de prova de pó de pedra apresentaram resistência à compressão comparável à dos de areia natural, demonstrando a robustez e a viabilidade técnica do material. Além disso, os módulos

de elasticidade das argamassas de pó de pedra, que variaram entre 39 e 44 GPa, indicam que o material é capaz de atender aos requisitos de deformabilidade, essenciais para o desempenho estrutural das edificações.

Os ensaios de tração, conduzidos em módulos experimentais revestidos com argamassas dosadas com pó de pedra e areia natural, forneceram evidências concretas sobre a viabilidade técnica do pó de pedra como substituto integral. Os resultados demonstraram que a resistência à tração das argamassas com pó de pedra excede os valores mínimos estabelecidos pela ABNT NBR 13.749, validando seu uso em revestimentos de alvenaria e outros componentes estruturais. A análise estatística, por meio do teste T-Pareado, não evidenciou diferenças significativas entre os valores de resistência à tração das argamassas com pó de pedra e aquelas com areia natural, sugerindo que, sob o ponto de vista mecânico, ambas as composições proporcionam desempenho equivalente. Isso reforça que o uso de pó de pedra não compromete a integridade estrutural nem a durabilidade das argamassas, mantendo a aderência e resistência exigidas para aplicações práticas.

Além dos aspectos técnicos, o uso de pó de pedra alinha-se fortemente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente os objetivos 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis). A introdução de resíduos industriais no ciclo produtivo da construção civil, como o pó de pedra, promove a economia circular ao reaproveitar materiais que, de outra forma, seriam descartados. O objetivo 9 destaca a importância de infraestruturas resilientes e processos inovadores, e o uso de pó de pedra responde a essa necessidade ao oferecer uma alternativa técnica que reduz o impacto ambiental da extração de recursos naturais. Já o objetivo 11 é atendido ao se considerar que a construção sustentável contribui para a longevidade e redução de impactos nas cidades. Finalmente, o objetivo 12 é diretamente abordado com a promoção de práticas de reciclagem e redução de consumo de recursos não renováveis, como a areia natural, substituída eficientemente pelo pó de pedra.

Portanto, a utilização de pó de pedra como substituto da areia natural em argamassas não apenas atende aos requisitos técnicos da construção civil, mas também apresenta vantagens ambientais consideráveis. Para a indústria, recomenda-se a adoção do pó de pedra como agregado alternativo, visto que os resultados indicam seu desempenho equivalente em ensaios de resistência e elasticidade. Além disso, incentiva-se a criação de normas técnicas específicas para garantir o controle de qualidade na sua aplicação, bem como a capacitação técnica dos profissionais envolvidos no processo construtivo.

Contudo, o estudo possui algumas limitações. Embora os resultados laboratoriais sejam promissores, são necessárias avaliações em larga escala e com diferentes condições de exposição para confirmar a viabilidade do pó de pedra em diferentes cenários construtivos. Além disso, a durabilidade a longo prazo das argamassas com pó de pedra, sob diferentes condições ambientais, ainda requer mais investigações. Pesquisas futuras devem se concentrar em análises de desempenho em condições de exposição climática adversa, no comportamento frente à carbonatação, além de explorar outros resíduos como potenciais agregados para reduzir ainda mais os impactos ambientais e econômicos da construção civil. A condução de uma análise completa do ciclo de vida (ACV) também seria fundamental para quantificar os benefícios ambientais do uso do pó de pedra em substituição à areia natural.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland— Determinação da resistência à compressão**. NBR 7215. Rio de Janeiro, 2019. 12p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland— Determinação da resistência à compressão**. NBR 7215. Rio de Janeiro, 2019. 12p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas — Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 2: Aderência ao substrato**. NBR 13528-2. Rio de Janeiro, 2019, 10p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Especificação**. NBR 13749. Rio de Janeiro, 2013. 14 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado miúdo — Determinação da massa específica e massa específica aparente**. NBR NM 52. Rio de Janeiro, 2009. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados — Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. NBR NM 45. Rio de Janeiro, 2006. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. NBR 13.276. Rio de Janeiro, 2005. 10p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.7p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13277: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro, 2005. 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2005. 3p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados — Determinação da composição granulométrica**. NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003. 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto endurecido — Determinação da velocidade da propagação de onda ultrassônica**. NBR 8802. Rio de Janeiro, 1994. 8p.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS INTERNATIONAL. ASTM E518/E518M-15: **Standard Test Methods for Flexural Bond Strength of Masonry**. West Conshohocken, PA, 2015.
- ANTUNES, C. B. **Análise do uso de grãos da areia de britagem de origem granítica na produção de argamassas de revestimento**. 2020. 74 f. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.
- BARBIERI, J. C.; VASCONCELOS, I.F.G.; ANDREASSI, T.; VASCONCELOS, F.C. Inovação e Sustentabilidade: Novos Modelos e Proposições. **Revista Administração de Empresas FGV**, n.2, v. 50, 2010. 9p.
- BITSIOU, E.; GIARMA, C. **Parameters related to building components' life-cycle analysis in methods for buildings' environmental performance assessment**. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 410, 2020.
- CALDAS, L. R.; TOLEDO, F.; ROMILDO, D. Avaliação do Ciclo de Vida de materiais cimentícios utilizados no Brasil: estudo para o bloco de concreto e diferentes argamassas. Lalca: **Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida**, v. 2, n. 2, p. 34 – 61, 2019.

CARVALHO, S. Z.; VERNILLI, F.; ALMEIDA, B.; OLIVEIRA, M.D.; SILVA, S.N. Reducing environmental impacts: the use of basic oxygen furnace slag in Portland cement. **Journal Of Cleaner Production**, v. 172, p. 385 – 390, 2018.

CASTANHEIRA, R. P. S.; GUEDES, F. L.; JUNIOR, C. F. C.; ALMEIDA, K. P.; AZEVEDO, F. G. A Viabilidade do Uso De Tecnologias Sustentáveis na Construção Civil. **Revista Eletrônica Faculdade Estácio do Recife**, v.1, n.3, 2016.

CORTESE, T. T. P.; PASCHOALIN FILHO, J. A.; FARIA, A. C.; RIBEIRO, A. P. Sustentabilidade nas construções: a necessidade de discussão deste novo paradigma. **Revista de Inovação e Sustentabilidade**, v.10, n.4, 2017.

DAMASCENO, J. L. B. **Requisitos de sustentabilidade aplicáveis ao setor da construção civil pesada**. 2016. 108f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

DIÓGENES, A. G. **Estudo do comportamento de argamassas de revestimento com areia de britagem da região metropolitana de Fortaleza**. 2016. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

HABERT, G.; MILLER, S.A.; JOHN, V.M.; PROVIS, J.L.; FAVIER, A.; HORVATH, A.; SCRIVENER, K.L. Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 11, p. 559 – 573, 2020.

HOSSAIN, M. U.; THOMAS, N.G. Influence of waste materials on buildings' life cycle environmental impacts: adopting resource recovery principle. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 142, p. 10 – 23, 2019.

HUANG, B.; GAO, X.; XU, X.; SONG, J.; GENG, Y.; SARKIS, J.; FISHMAN, T.; KUA, H.; NAKATANI, J. A Life Cycle Thinking Framework to Mitigate the Environmental Impact of Building Materials. **One Earth**, v. 3, n. 5, p. 564 – 573, 2020.

MANSUR, H. S.; PEREIRA, M.; ORÉFICE, R. **Técnicas de caracterização de materiais**. In: R. ORÉFICE; H. MANSUR; M. PEREIRA. (Org.). *Biomateriais: fundamentos e aplicação*. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 2005. 236p.

MENOSSE, R. T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. 2004. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

MIRANDA, L. F. R. **Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa do entulho reciclado**. 2000. 170 f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2000. 120p.

MOHAMAD, G.; NETO, A.B.; PELISSER, F.; LOURENÇO, P.B.; ROMAN, H.R. Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural — previsão e modo de ruptura. **Revista Matéria**, v.14, n. 2, p. 824 – 844, 2009.

MOTA, J. D.; OLIVEIRA, D.F.; TRAJANO, M.F.; SANTIAGO, N.O.; SILVA, A.P.A. Aproveitamento dos resíduos de granito e caulim como materiais aditivos na produção de tijolos ecológicos. **Química dos Materiais**, v. 10, n.1, p. 31–38, 2011.

OLIVEIRA, V. P.; SOUZA, L. F. A. **Análise da Viabilidade Técnica do Uso de Contêineres Marítimos na Construção Civil para Habitações Sociais**. Epataya E-Books, v.1, n.6, p. 134 – 163, 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Relatório dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2022*. Nova York: Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas (UN DESA), 2022. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/>. Acesso em: 21 de março de 2023.

SANTOS, W. J.; ALVARENGA, R.C.S.; SILVA, R.C.; PEDROTI, L.G.; SOUZA, A.T.; FREIRE, A.S. Análise da influência do tipo de agregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, p. 271 – 288, 2014.

PASSUELLO, A. C. B.; OLIVEIRA, A.F.; COSTA, E.B.; KIRCHHEIM, A.P. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clíniques alternativos. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 7- 20, 2014.



PASSUELO, A. C. B.; VENQUIARUTO, S.; ABREU, A.G.; ZANINI, C.; DOMINGUEZ, O.A.; KIRCHHEIM, A.P.; DAL MOLIN, D.; MASUERO, A. Valorização de resíduos de ágata em argamassas e concretos: avaliação do ciclo de vida. **Matéria**, v. 24, n. 2, 2019.

TOKARSKI, R.B. **Comportamento da Areia de Britagem de Rocha Calcária na Argamassa de Revestimento**. 2017. 208 f. Dissertação (Mestrado — Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.