EFEITOS DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR AREIA INDUSTRIALIZADA EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM FIBRAS DE PVA

EFFECTS OF REPLACING NATURAL SAND WITH MANUFACTURED SAND IN PVA FIBER-REINFORCED CEMENTITIOUS COMPOSITES

Vivianne Machado da Costa [1]; Margareth da Silva Magalhães [2].

[1]Doutoranda | viviannemachadoc@gmail.com | UERJ | Rio de Janeiro, Brasil; [2]Doutora | margareth.magalhaes@eng.uerj.br | UERJ | Rio de Janeiro, Brasil.

Resumo:
A crescente demanda por soluções sustentáveis na construção civil tem incentivado a substituição de matérias-primas convencionais por alternativas de menor impacto ambiental. Neste contexto, este estudo investigou os efeitos da substituição total da areia natural por areia industrializada, proveniente do processo de britagem de rochas, nas propriedades de compósitos cimentícios reforçados com fibras de PVA. Foram produzidas duas misturas variando-se apenas a origem da areia. As composições foram avaliadas quanto à consistência e massa específica no estado fresco; módulo de elasticidade, resistência à compressão e à flexão no estado endurecido; além de massa específica aparente, índice de vazios e absorção de água. Os resultados mostraram que as misturas apresentaram valores similares de massa específica, índice de vazios, absorção de água, resistência à compressão e módulo de elasticidade. Por outro lado, a mistura com areia industrializada apresentou maior índice de consistência, bem como ganhos significativos em resistência à flexão e capacidade de deflexão em comparação à mistura com areia natural. Tais resultados evidenciam o potencial técnico da areia industrializada, além de sua relevância ambiental, ao promover a valorização de um subproduto já disponível na cadeia produtiva e contribu2ir para a preservação de recursos naturais.

Palavras-chave:
Areia industrializada; Compósitos cimentícios reforçados com fibras; Sustentabilidade; Valorização de resíduos.

Abstract:
The growing demand for sustainable solutions in the construction industry has encouraged the replacement of conventional raw materials with alternatives of lower environmental impact. In this context, this study investigated the effects of fully replacing natural sand with manufactured sand, derived from the rock-crushing process, on the properties of polyvinyl alcohol fiber-reinforced cementitious composites. Two mixtures were produced, differing only in the type of sand used. The composites were evaluated in terms of consistency and density in the fresh state; modulus of elasticity, compressive strength, and flexural strength in the hardened state; as well as apparent density, void index, and water absorption. The results showed that both mixtures presented similar values for density, void index, water absorption, compressive strength, and modulus of elasticity. On the other hand, the mixture containing manufactured sand exhibited a higher consistency index, and significant improvements in flexural strength and deflection capacity compared to the one with natural sand. These findings highlight the technical potential of manufactured sand, as well as its environmental relevance by promoting the valorization of a readily available byproduct in the construction supply chain and contributing to the preservation of natural resources.

Keywords:
Manufactured sand; Fiber-reinforced cementitious composites; Sustainability; Waste valorization.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação ambiental no setor da construção civil tem impulsionado o desenvolvimento de materiais com menor impacto ecológico, especialmente na formulação de compósitos cimentícios. Nesse contexto, os compósitos cimentícios reforçados com fibras de PVA destacam-se por sua elevada ductilidade e capacidade de controle da fissuração, o que os torna particularmente adequados para aplicações em reforço e reparo estrutural, bem como em sistemas com exigências elevadas de durabilidade (Wang, Li, 2007).

Esses compósitos integram uma classe de materiais desenvolvidos com base em princípios micromecânicos, visando otimizar a interação entre a matriz cimentícia, as fibras e a zona de transição interfacial. Tal abordagem possibilita elevada deformação sob tração mesmo com frações volumétricas de fibras inferiores a 2%. Para garantir esse comportamento pseudo-dúctil, é essencial empregar agregados miúdos com diâmetro máximo de 300 µm, favorecendo a dispersão homogênea das fibras e a formação de múltiplas fissuras finas (Wang, Li, 2007; Wang, Li, 2011).

No Brasil, a areia natural peneirada é frequentemente utilizada na formulação desses compósitos (Magalhães, Toledo Filho, Fairbarn, 2009), enquanto em outros países recorre-se à areia de microssílica (Li, 2008). Entretanto, a extração da areia natural, geralmente realizada em leitos e margens de rios, acarreta impactos ambientais relevantes, como erosão, alterações no regime hidrológico e degradação de ecossistemas aquáticos (Drago, 2009; Rubin, 2015; Gontijo, 2019).

Além das questões ambientais, observa-se o esgotamento progressivo das jazidas próximas aos centros urbanos, associado a restrições legais e territoriais, o que eleva os custos de transporte e compromete a regularidade do abastecimento (Valverde, 2018). Tais dificuldades logísticas também ampliam os impactos ambientais indiretos, uma vez que o transporte de materiais no Brasil é predominantemente rodoviário, resultando em maior consumo de combustíveis fósseis e emissões atmosféricas (Soliani, Argoud, 2018). A areia de microssílica, embora tecnicamente viável, possui custo elevado devido à complexidade dos processos de extração e beneficiamento (Laraz, 2020).

Nesse cenário, a areia industrializada desponta como uma alternativa viável e ambientalmente vantajosa. Trata-se de um subproduto do processo de britagem de rochas para produção de agregados graúdos, cuja comercialização já se encontra consolidada em diversas regiões. Por estar integrada a uma cadeia produtiva preexistente, sua obtenção gera menor impacto ambiental. Além disso, sua disponibilidade próxima aos centros consumidores contribui para a redução dos custos logísticos e das emissões associadas ao transporte, especialmente em um país de dimensões continentais como o Brasil (La Serna, Rezende, 2019).

Paralelamente, uma estratégia complementar para aumentar a sustentabilidade desses compósitos consiste na substituição parcial do cimento Portland por adições minerais, como a cinza volante. Essa prática, amplamente adotada, visa reduzir as emissões de CO_2 associadas à produção de cimento, além de melhorar a trabalhabilidade, otimizar o empacotamento de partículas e favorecer a dispersão das fibras, sem comprometer o desempenho mecânico do compósito (Wang, Li, 2011; Kumar, Ranade, 2021).

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar comparativamente o desempenho de compósitos cimentícios reforçados com fibras de PVA produzidos com dois tipos de areia, natural e industrializada, analisando os efeitos dessa substituição nas propriedades físicas e mecânicas do material. A proposta visa contribuir para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis para a construção civil, mantendo ou aprimorando o desempenho técnico dos compósitos.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. MATERIAIS

Neste estudo foram moldados dois compósitos cimentícios reforçados com fibras de PVA. Para a sua produção, utilizaram-se cimento Portland, cinza volante, agregado miúdo, fibras de álcool polivinílico (PVA), água e aditivo superplastificante. O cimento Portland empregado foi do tipo CP II-F-40, com resistência característica mínima à compressão de 40 MPa aos 28 dias, conforme a norma NBR 7215 (ABNT, 2019). O cimento apresentou uma massa específica de 3,03 g/cm³ e índice de finura na peneira de 45 μm igual a 2,25%. Os ensaios de massa específica e finura foram realizados segundo as normas NBR 16605 (ABNT, 2017) e NBR 11579 (ABNT, 2012), respectivamente.

A cinza volante, fornecida pela empresa Pozo Fly, apresentou massa específica de 2,10 g/cm³, determinada conforme a norma NBR 16605 (ABNT, 2017). O índice de finura, obtido conforme a norma NBR 12826 (ABNT, 2014b), foi de 43,8% na peneira de 45 μm. O índice de desempenho com o cimento Portland aos 28 dias, determinado segundo a NBR 5752 (ABNT, 2014a), foi de 87,71%, indicando sua viabilidade como substituto parcial do cimento.

Foram utilizados dois tipos de agregado miúdo, ambos passantes na peneira de 300 μm. O primeiro foi uma areia natural, com massa específica de 2,64 g/cm³ e módulo de finura de 0,65. O segundo foi uma areia industrializada, proveniente da britagem da rocha gnaisse granítico, com massa específica de 2,53 g/cm³ e módulo de finura de 0,41. Essa areia apresenta partículas de forma mais angulosa e lamelar, com alta quantidade de vértices e arestas. Foi fornecida pela empresa Ibrata Mineração Ltda., localizada no município do Rio de Janeiro.

A fibra de reforço utilizada foi do tipo PVA, fornecida pela fabricante japonesa Kuraray. Possui comprimento de 12 mm, massa específica de 1,31 g/cm³, módulo de elasticidade de 41 GPa e resistência à tração de 1560 MPa.

A água utilizada nas misturas provém da rede municipal de abastecimento do Rio de Janeiro, por meio das instalações hidráulicas do Laboratório de Engenharia Civil da UERJ.

O aditivo superplastificante utilizado foi o Glenium 51, de terceira geração, fabricado pela BASF. Esse aditivo é base de éter policarboxílico, com massa específica de 1,10 g/cm³ e teor de sólidos de 27%.

2.2. PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram estudadas duas formulações de compósitos cimentícios, que se diferenciam apenas quanto à natureza da areia utilizada. O compósito denominado MR foi produzido com areia natural, enquanto o compósito MAI empregou areia proveniente do subproduto da britagem de rochas.

As proporções dos materiais utilizados foram às seguintes: relação cinza volante/cimento igual a 1,2; relação areia/material cimentício de 0,36; relação água/material cimentício igual a 0,31; e teor volumétrico de fibras igual a 2%. Considerou-se como material cimentício a soma das massas de cimento Portland e cinza volante. Todas as proporções, incluindo a relação superplastificante/material cimentício (fixada em 0,80%), foram mantidas constantes para ambas as misturas. A Tabela 1 apresenta as quantidades dos materiais utilizados.

Mistura	Cimento	Cinza Volante	Areia	Água	Superplastificante	Fibra
MR	530,94	637,12	420,50	355,27	9,34	26,00
MAI	528,64	634,37	418,69	353,73	9,30	26,00

Tabela 1: Quantidades dos materiais utilizados nas misturas dos compósitos, expressas em kg/m³.
Fonte: Os autores (2025).

Para o preparo das misturas, os materiais foram inicialmente separados e pesados de acordo com suas respectivas proporções. A mistura foi realizada em uma argamassadeira com capacidade de 20 litros. Os materiais secos (cimento, cinza volante e areia) foram misturados previamente para garantir homogeneidade. Em seguida, adicionou-se a água e, posteriormente, o aditivo superplastificante. A mistura foi conduzida por aproximadamente 5 minutos, tempo necessário para a ativação do aditivo. Por fim, as fibras de PVA foram incorporadas lentamente, a fim de evitar a formação de grumos e promover sua distribuição uniforme na matriz. A mistura foi então mantida em agitação por mais 2 minutos.

Os corpos de prova foram moldados em formas metálicas previamente tratadas com desmoldante. Após 24 horas, as amostras foram desmoldadas e submetidas à cura em água saturada com hidróxido de calcio, até a idade de 28 dias.

2.3. PROCEDIMENTO DOS ENSAIOS

Foram realizados ensaios com o objetivo de caracterizar as propriedades das misturas no estado fresco e endurecido. No estado fresco, avaliaram-se a consistência e massa específica; no estado endurecido, determinaram-se propriedades físicas e mecânicas, tais como massa específica, índice de vazios, absorção de água, resistência à compressão, módulo de elasticidade e resistência à flexão.

Logo após o preparo das misturas e antes da moldagem dos corpos de prova, foi realizado o ensaio de consistência por espalhamento, conforme os procedimentos da NBR 13276 (ABNT, 2016). A massa específica no estado fresco foi determinada segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005b).

As propriedades físicas das amostras endurecidas foram avaliadas por meio dos ensaios de massa específica, porosidade e absorção de água, conduzidos conforme a NBR 9778 (ABNT, 2005a). Nestes ensaios foram utilizados três corpos de prova cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura.

A resistência à compressão foi determinada a partir do ensaio de três corpos de prova cilíndricos por mistura (50 x 100 mm), utilizando máquina servo-controlada da fabricante INSTRON, com capacidade de 100 kN e velocidade de aplicação de 0,3 mm/min. O módulo de elasticidade foi obtido pela inclinação da reta tangente no gráfico de tensão-deformação, considerando até 30% da tensão máxima.

Para o ensaio de flexão em quatro pontos, foram utilizados três corpos de prova prismáticos com dimensões de 12,5 x 60 x 400 mm, por mistura. Os ensaios foram realizados na mesma máquina, com velocidade de aplicação de 0,5 mm/min. A configuração dos ensaios é mostrada na Figura 1.



(a) (b)

Figura 1: (a) Ensaio de compressão e (b) ensaio de flexão durante carregamento.
Fonte: Os autores (2025).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos ensaios das propriedades dos compósitos no estado fresco e seus respectivos desvios padrão. Através do desvio padrão é possível verificar que não houve grandes variações no diâmetro do espalhamento das misturas dos compósitos, indicando que as misturas possuem uma consistência homogênea em toda a sua extensão.

Mistura	Consistência (mm)	Desvio Padrão	Massa Específica (g/cm³)
MR	238,00	0,21	1,84
MAI	249,00	0,25	1,87

Tabela 2: Resultados de consistência e massa específica dos compósitos SHCC.
Fonte: Os autores (2025).

Observa-se que a mistura MAI apresentou um valor de consistência superior ao da mistura MR. Considerando que ambas as misturas possuem granulometria das areias equivalentes (diâmetro máximo de 0,3 mm), mesmo traço e igual teor de superplastificante, essa diferença de desempenho no estado fresco é atribuída às características morfológicas e à textura superficial dos grãos. A areia industrializada possui partículas com forma mais angulosa e lamelar, aspecto que, em condições normais, tenderia a reduzir a fluidez da mistura. No entanto, neste caso, o valor inferior de módulo de finura da areia industrializada (MF = 0,41), em comparação à areia natural (MF = 0,65), indica maior presença de partículas finas, que podem ter favorecido o empacotamento da matriz. Esses finos preenchem os vazios entre os grãos maiores e irregulares, resultando em uma mistura simultaneamente fluida e densa, com maior estabilidade estrutural e melhor dispersão da pasta.

Assim, os dados de módulo de finura corroboram a hipótese de que a melhoria da consistência observada na MAI está relacionada não apenas à geometria dos grãos, mas também à distribuição granulométrica mais refinada da areia industrializada.

Adicionalmente, a maior rugosidade superficial da areia industrializada pode ter favorecido a dispersão das partículas cimentícias e das fibras de PVA, reduzindo o risco de segregação e melhorando a estabilidade reológica da pasta. A massa específica da MAI também foi levemente superior à da mistura MR, reforçando a hipótese de um empacotamento mais eficiente e menor volume de ar incorporado à matriz. Esses resultados são compatíveis com o estudo de Carasek *et al.* (2016, p. 714), que relatou que argamassas com maior densidade tendem a apresentar maior espalhamento no ensaio de consistência, evidenciando a relação entre compacidade da mistura e fluidez no estado fresco.

3.2. PROPRIEDADES FÍSICAS

As propriedades físicas no estado endurecido das misturas dos compósitos constam na Tabela 3, onde é possível verificar os valores médios do índice de vazios, absorção de água e massa específica, e os respectivos desvios padrão de cada mistura.

Mistura	Índice de vazios (%)	Desvio Padrão	Absorção (%)	Desvio Padrão	Massa específica (g/cm³)	Desvio Padrão
MR	27,57	0,46	16,27	0,79	1,66	0,02
MAI	26,97	1,39	16,44	0,66	1,65	0,02

Tabela 3: Resultados das propriedades físicas dos compósitos SHCC.
Fonte: Os autores (2025).

Com base nos resultados apresentados, observa-se que a mistura MAI, produzida com areia industrializada, apresentou índice de vazios ligeiramente inferior ao da mistura MR, com uma redução de 2,18%. Apesar dessa diferença numérica, os resultados entre as duas misturas podem ser considerados similares, sem variação significativa. Ainda assim, esse comportamento pode estar associado à presença de finos na fração de britagem, que contribuem para o preenchimento dos vazios entre partículas maiores, favorecendo uma compactação mais eficiente no estado fresco.

Também não houve diferença significativa entre os valores de absorção de água das misturas. E os valores de massa específica dos compósitos no estado endurecido foi estatisticamente equivalente para ambas as misturas, o que indica que a leve diferença de compactação não impactou de forma significativa a densidade global da matriz endurecida.

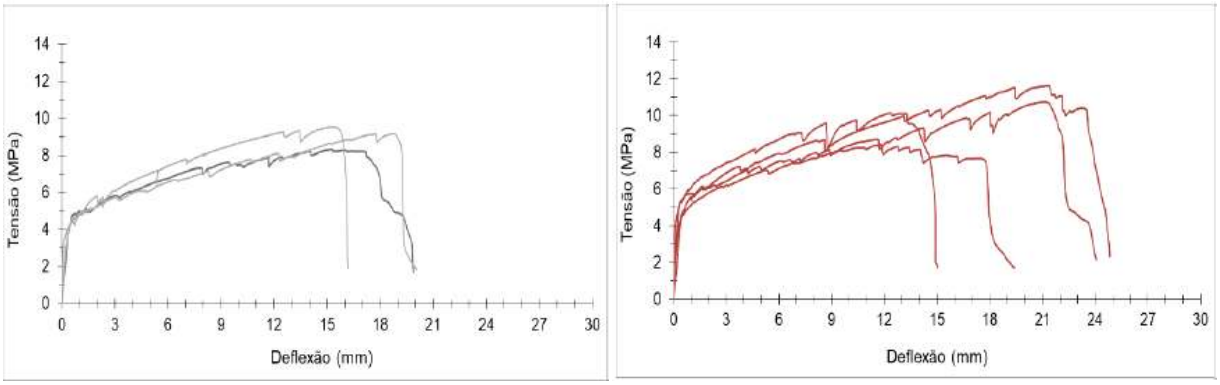
3.3. PROPRIEDADES MECÂNICAS

Na Tabela 4 consta os resultados dos ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade, resistência à flexão e deflexão máxima, onde é possível ver os seus valores médios e seus respectivos desvios padrão. Na Figura 2 pode ser vista a curva tensão versus capacidade de deflexão.

Mistura	Resistência à Compressão (MPa)	Desvio Padrão	Módulo de Elasticidade (GPa)	Desvio Padrão	Resistência à Flexão (MPa)	Desvio Padrão	Capacidade de Deflexão (mm)	Desvio Padrão
MR	35,47	4,45	18,73	1,57	9,02	0,50	17,32	1,27
MAI	37,25	3,95	19,02	0,72	10,24	1,17	18,52	3,45

Tabela 4: Resultados das propriedades mecânicas dos compósitos SHCC.
Fonte: Os autores (2025).

Com base nos dados analisados, observa-se que a mistura MAI, formulada com areia industrializada, apresentou desempenho mecânico global superior à da mistura MR, que utiliza areia natural. Embora os valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade não tenham apresentado diferenças significativas entre as formulações, o destaque foi à resistência à flexão, que se mostrou 13,53% maior na mistura MAI.



(a) (b)

Figura 2: Gráficos dos ensaios de flexão dos compósitos (a) MR e (b) MAI.
Fonte: Os autores (2025).

Observando as curvas apresentadas, nota-se que as misturas produzidas apresentaram um comportamento dúctil de “deflection hardening”. Analisando a deflexão máxima, houve um aumento de 6,93% da mistura com areia industrializada em relação à areia natural. A forma e textura das partículas podem influenciar a capacidade de intertravamento na matriz do compósito, afetando assim sua ductilidade e resistência à flexão.

Além disso, a maior consistência observada no ensaio de espalhamento da mistura MAI (Tabela 2) indica uma melhor dispersão da pasta e das fibras de PVA na matriz cimentícia, aspecto relevante para o desempenho à flexão do compósito.

A rugosidade superficial da areia industrializada também pode ter contribuído para a melhor ancoragem das fibras na matriz, favorecendo a resistência à fissuração e à flexão. A interação fibra-matriz é particularmente sensível à qualidade da interface, que é influenciada diretamente pelo empacotamento e pela distribuição dos componentes.

No estudo realizado por Tiecher e Marcon (2020), foram avaliadas as características de argamassas de revestimento produzidas com areias de britagem. Os resultados indicaram que o agregado com maior teor de finos resultou em maiores resistências à compressão e à tração, devido ao refinamento dos poros.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a substituição da areia natural por areia industrializada, proveniente do subproduto da britagem de rochas, em compósitos cimentícios reforçados com fibras de PVA representa uma solução tecnicamente eficaz e ambientalmente vantajosa.

No estado fresco, a mistura com areia industrializada apresentou maior índice de consistência, indicando uma matriz mais fluida e com melhor trabalhabilidade. Essa característica favorece a dispersão dos constituintes, especialmente das fibras, contribuindo para maior homogeneidade e estabilidade reológica do compósito.

No estado endurecido, as propriedades físicas, como massa específica, índice de vazios e absorção de água, bem como as propriedades mecânicas de resistência à compressão e módulo de elasticidade, mostraram-se semelhantes entre as duas misturas. Entretanto, observou-se um ganho expressivo na resistência à flexão da mistura com areia industrializada, com incremento de 13,5%, além de um aumento na capacidade de deflexão sob carregamento. Esses resultados sugerem uma influência positiva da textura superficial e da fração fina da areia industrializada sobre a matriz cimentícia e a eficiência da transferência de tensões na interface fibra-matriz.

Sob a perspectiva da sustentabilidade, a substituição da areia natural por um subproduto da britagem evita a extração em áreas ambientalmente sensíveis, contribuindo para a preservação de recursos naturais e a mitigação de impactos sobre ecossistemas frágeis. Ao mesmo tempo, promove a valorização de resíduos minerais, em consonância com os princípios da economia circular.

Em termos logísticos e econômicos, destaca-se o potencial de produção da areia industrializada em regiões próximas a centros consumidores, o que pode reduzir custos de transporte, garantir maior estabilidade no fornecimento e contribuir para a diminuição das emissões associadas ao uso de combustíveis fósseis, um aspecto particularmente relevante no contexto brasileiro.

Conclui-se, portanto, que a substituição da areia natural por areia industrializada é tecnicamente viável para a produção de compósitos cimentícios reforçados com fibras de PVA, promovendo ganhos em desempenho flexural e deflexão, sem comprometer as demais propriedades físico-mecânicas. Além disso, essa estratégia contribui para avanços significativos em termos de sustentabilidade ambiental e viabilidade logística.

Recomenda-se que estudos futuros incluam a avaliação do comportamento à tração direta, o impacto de diferentes teores de finos na areia industrializada e a análise de propriedades relacionadas à durabilidade, retração e exposição ambiental prolongada. A realização de Análises de Ciclo de Vida (ACV) e investigações voltadas à aplicação estrutural sustentável também são indicadas, considerando que a fase de uso representa parcela significativa das emissões de CO_2 ao longo do ciclo de vida das construções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752: Materiais pozolânicos - determinação de atividade pozolânica com cimento Portland - índice de atividade pozolânica com cimento**. Rio de Janeiro, 2014a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro. 2005a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579: Cimento Portland Comum - Determinação do módulo de finura**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12826: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação do índice de finura por meio do peneirador aerodinâmico.** Rio de Janeiro, 2014b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278: Argamassas para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 2005b.

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

CARASEK, H.; ARAÚJO, R.C.; CASCUDO, O.; ANGELIM, R. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Matéria**, v. 21, n. 3, p. 714-732, 2016.

DRAGO, C.; VERNEY, J.C.; PEREIRA, F. Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland. **Revista Escola de Minas**, v. 62, n. 3, p. 399-408, 2009.

GONTIJO, M. Controles ambientais em portos de areias. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 3, p. 137-150, 2019.

KUMAR, D.; RANADE, R. Strain Hardening Cementitious Composites for Fire Resilient Infrastructure. **Fire Safety Journal,** v. 127, 2021.

LARAZ, F. **Caracterização da areia de sílica**. Dr. Fundição Sociedade Técnica, 2020. Disponível em: https://www.doutorfundicao.com/post/caracteriza%C3%A7%C3%A3o-da-areia-des%C3%ADlica. Acesso em: 28 jan. 2024.

LA SERNA, H. A.; REZENDE, M. M. **Agregados para a construção civil.** DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral, 2019. Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economiamineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados- minerais. Acesso em: 08 agos. 2023.

LI, V. C. **Engineered Cementitious Composites (ECC) – Material, Structural, and Durability Performance**. Concrete Construction Engineering Handbook, 2ª ed., p. 1–78, 2008.

MAGALHÃES, M. S.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Physical and mechanical properties of strain-hardening cement-based composites (SHCC after exposure to elevated temperatures. *In:* **Proceedings of the International Conference on Advance Concrete Materials**. Stellenbosch, 2009.

SOLIANI, R.D.; ARGOUD, A.R. A emissão de gases poluentes no transporte rodoviário de cargas brasileiro. **Revista Espacios**, v. 39, n. 48, p. 14, 2018.

TIECHER, F.; MARCON, E. Estudo da produção de argamassas de revestimento contendo areia de britagem. *In:* **XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. v. 18, n. 1, p. 1-10, 2020.

VALVERDE, F. M. **Demanda por agregados para construção**. Comin, Fiesp, ANEPAC, 2018. Disponível em: https://sitefiespstorage.blob.core.windows.net/observatoriodaconstrucao/2018/10/Demanda-por-Agregados-para-construcao.pdf. Acesso em: 11/09/2023.

WANG, S. X.; LI, V. C. Engineered cementitious composites with high-volume fly ash. **ACI Materials Journal,** v. 104, n. 3, p. 233-241, 2007.

WANG, S.; LI, V. C. Polyvinyl alcohol fiber reinforced engineered cementitious composites: Material design and performances. *In:* **International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites Structural Applications**, p. 65-73, 2011.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a empresa Ibrata Mineração Ltda pela doação da areia subproduto da britagem de rochas. Também agradecem a empresa Pozo Fly – Comércio e beneficiamento de pozolana pela doação da cinza volante.