

**MATERIAIS CIMENTÍCIOS SUSTENTÁVEIS**

Jean Felipe Nedel Andreato, Adilson Schackow, Thallian Valente Soares Carmeanne Effting

**INTRODUÇÃO**

Devido ao impacto ambiental causado pela extração de matérias-primas e CO<sub>2</sub> na produção de cimento, tem-se buscado cada vez mais a redução do consumo desse constituinte no concreto. Dentre os materiais que são elegíveis para serem utilizados como substituintes de parte do cimento, existem os materiais cimentícios suplementares (MCS), tais materiais devem possuir certas características químicas e físicas que os tornam compatíveis com as características do cimento, adequando a amostra e melhorando as propriedades do concreto [3,4]. Dentre os materiais indicados para essa substituição, o metacaulim e a sílica ativa, são as adições minerais mais comumente utilizadas nos últimos anos na produção de materiais cimentícios [2].

Nas últimas décadas a impressão tridimensional (3D), tem atraído muita atenção devido às suas vantagens, como baixo custo e consumo de energia, mostrando-se uma grande aliada da sustentabilidade no setor da construção civil. Dessa forma, essa pesquisa busca encontrar um traço que seja capaz de utilizar os materiais cimentícios sustentáveis e manter as características necessárias para obter um bom resultado na impressão.

**DESENVOLVIMENTO**

A impressão tridimensional na construção civil consiste na deposição sucessiva de camadas de materiais cimentícios, por meio de sistemas automatizados [1]. Essa tecnologia permite a execução de formas complexas sem o uso de fôrmas tradicionais, reduzindo o consumo de materiais, o tempo de execução e os custos operacionais [5]. Dessa forma, essa tecnologia promove uma construção mais sustentável e alinhada às metas globais de mitigação dos impactos ambientais.

Com o objetivo de identificar as características ideais para a impressão 3D, foram desenvolvidos dois traços de argamassa. Partindo de uma base convencional (cimento, areia e água), adicionou-se materiais cimentícios suplementares e aditivos químicos, variando suas proporções em cada traço. Para alcançar o equilíbrio ideal na impressão 3D, foi utilizada a sílica ativa como forma de substituir parte do cimento e diminuir a densidade da argamassa, tornando-a mais leve e facilitando a sobreposição de camadas. Aliado ao uso da sílica ativa, adicionou-se o metacaulim, que tem como função refinar a microestrutura da argamassa, resultando em maior resistência mecânica e durabilidade da peça final.

Em complemento aos MCS, os aditivos superplastificante e retardador de pega, tem como função ajudar na fluidez da amostra e fornecer um maior tempo de trabalho à massa, respectivamente. Por aumentar a coesão e a plasticidade da argamassa, o filler foi adicionado ao traço com o intuito de melhorar o bombeamento e a extrusão do material.

Com os traços de argamassa definidos (Tabela 1), foi realizado o controle tecnológico através da execução da análise reológica, ensaio de compressão e ensaio de tração na flexão. Para os ensaios com prensa, foram confeccionados corpos de prova e rompidos em 31 dias. Através da reologia, foi possível avaliar as características reológicas como viscosidade e taxa de estruturação. Ao fim das análises laboratoriais, os traços foram submetidos a impressão 3D, fato que possibilitou uma avaliação visual e prática do desempenho de cada mistura.

No processo de impressão, a tensão de escoamento estática define a capacidade do material de manter sua forma após ser extrudado e suportar as camadas subsequentes sem sofrer

deformações excessivas. Outro parâmetro é a tixotropia, um comportamento tixotrópico é desejado pois durante o processo de mixagem e bombeamento o concreto deve manter-se trabalhável, porém após a extrusão deve haver rápida estruturação, com aumento progressivo da tensão de escoamento ao longo do tempo [6]. O processo de impressão consistiu na confecção de corpos cilíndricos com diâmetro de 15 centímetros (Figura 1) e 8 camadas de sobreposição de material, com altura de extrusão entre as camadas, inicialmente de 8 milímetros, valor esse que foi alterado para 12 milímetros ao decorrer dos testes, por apresentar melhores resultados de deposição camada sobre camada.

## RESULTADOS

Nos ensaios de prensa, ambos os traços obtiveram alta resistência a compressão, ficando equiparados em valores (65,68 Mpa e 67,22 Mpa), entretanto a mistura 2 obteve resultados 2,5% melhores. Já no ensaio de tração na flexão, a mistura 2 obteve resultados de tensão 17% maiores, o que indica uma melhor capacidade de suportar forças que tendem a dobrá-la, como o peso próprio das camadas superiores.

Em relação a impressão tridimensional, ambos os traços demonstraram características favoráveis a impressão, como fluidez, consistência e leveza, fato esse que resultou no sucesso na criação dos corpos cilíndricos em ambas as misturas. Porém a substituição de parte da areia média por areia fina na mistura 2 proporcionou uma melhor impressão, tanto em relação as características físicas da argamassa quando na parte estética, sendo ela menos rugosa do que a produzida pela primeira mistura.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução deste trabalho permitiu analisar as características necessárias para o desenvolvimento de argamassa sustentável para impressão 3D. Através de testes de reologia, tração na flexão e compressão, foi possível investigar a influência da resistência, tensão de escoamento, taxa de estruturação e viscosidade na impressão tridimensional. Também registrou-se como a presença do filler e a variação do tipo de areia na mistura afetam o processo de impressão. Os resultados obtidos foram consistentes com outras pesquisas sobre o tema e mostraram que a utilização dos materiais sustentáveis em uma mistura de argamassa, proporciona uma boa capacidade de construtibilidade de camadas, além de resistência à compressão e fluidez para o bombeamento.

**Palavras-chave:** Cimento; Impressão 3D; Sílica ativa; Metacaulim; Sustentável.

## ILUSTRAÇÕES

**Tabela 1.** Comparação entre os traços de argamassa realizados.

Mistura	Cimento	Água	Areia média	Areia fina	Sílica Ativa	Metacaulim	Filler	Aditivo 01	Aditivo 02
01	5975,71	2874,72	13181,76	0	598,06	478,06	0	24,89	24,89
02	5975,71	2874,72	2987,86	5975,71	598,06	478,06	598,06	24,89	24,89



**Figura 1.** Impressora 3D de argamassa em funcionamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Mazhoud, A. Perrot, V. Picandet, D. Rangeard, E. Courteille, Underwater 3D printing of cement-based mortar, *Constr Build Mater* 214 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.134>.
- [2] D. da Silva Andrade, J. H. da Silva Rêgo, P. Cesar Moraes, and M. Frías Rojas, "Chemical and mechanical characterization of ternary cement pastes containing metakaolin and nanosilica," *Constr. Build. Mater.*, vol. 159, pp. 18–26, 2018, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.123>
- [3] L.F. de Magalhães, S. França, M. dos S. Oliveira, R.A.F. Peixoto, S.A.L. Bessa, A.C. da S. Bezerra, Iron ore tailings as a supplementary cementitious material in the production of pigmented cements, *J. Clean. Prod.* 274 (2020) 123260. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123260>.
- [4] M.L.F. Martins, R.R. Barreto, P.R.R. Soares Junior, I.P. Pinheiro, A.C. da S. Bezerra, Metal magnesium industry waste for partial replacement of Portland cement, *Rev. IBRACON Estruturas e Mater.* 13 (2020) 1–9. <https://doi.org/10.1590/s1983-41952020000600011>
- [5] R.A. Buswell, R.C. Soar, A.G.F. Gibb, A. Thorpe, Freeform Construction: Mega-scale Rapid Manufacturing for construction, *Autom Constr* 16 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.05.002>.
- [6] SOUZA, Marcelo Tramontin; FERREIRA, Igor Maia; DE MORAES, Elisângela Guzi; SENFF, Luciano; OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes. 3D printed concrete for largescale buildings: An overview of rheology, printing parameters, chemical admixtures, reinforcements, and economic and environmental prospects. *Journal of Building Engineering*, Amsterdam, v. 32, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101833>.

---

**DADOS CADASTRAIS**

---

**BOLSISTA:** Jean Felipe Nedel Andreato

**MODALIDADE DE BOLSA:** PROBIC/UDESC (IC)

**VIGÊNCIA:** 09/2024 a 08/2025 – Total: 12 meses

**ORIENTADOR(A):** Carmeane Effting

**CENTRO DE ENSINO:** CCT

**DEPARTAMENTO:** Departamento de Engenharia Civil

**ÁREAS DE CONHECIMENTO:** Engenharias / Engenharia Civil

**TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA:** Materiais de Construção Sustentáveis, Reologia e Impressão 3D

**Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA:** NPP4229-2023