

# EFEITO DAS MATÉRIAS-PRIMAS NA REOLOGIA DE COMPÓSITO CIMENTÍCIO PARA IMPRESSÃO 3D

Giovanni Manzi<sup>1</sup>, Arthur Henrique Lissoni Vieira<sup>1</sup>, Gabriel Gusmão dos Santos<sup>1</sup>, Guilherme de Sousa Ferreira<sup>1</sup>, João Vitor Batista da Silva<sup>1</sup>, Rui Barbosa de Souza<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário FEI  
 giovannimanzi132@gmail.com; rui.souza@fei.edu.br

**Resumo:** O objetivo do trabalho é estudar o efeito das matérias-primas na reologia de concretos para impressão 3D. Os resultados mostraram que os materiais finos, com diferentes áreas superficiais, governam tais propriedades.

## 1. Introdução

Impressão 3D em compósitos cimentícios trata-se da tecnologia de manufatura aditiva, ou seja, um processo de fabricação caracterizado por meio da adição em camadas sucessivas de material a partir de um modelo geométrico 3D originado por um sistema CAD [1].

Através da manufatura aditiva é possível ter os ganhos: eficiência e rapidez na produção, redução de desperdícios, possibilidade de fabricação de peças de diversos formatos, significativa redução do desperdício de material e da necessidade de retrabalho por falhas humanas de execução, aumento da produtividade e da padronização da produção.

objetivo do trabalho é estudar o efeito de materiais constituintes do concreto, incluindo materiais suplementares e *fillers*, nas propriedades reológicas deste compósito, medidos por *squeeze-flow*.

## 2. Metodologia

Atualmente os desafios tecnológicos relacionados à impressão 3D em concreto são as suas propriedades reológicas, como a capacidade de bombeamento, a interface entre camadas, a capacidade de suporte no estado fresco de outras camadas, o tempo em aberto, a extrudabilidade, a retenção de forma; e os seus efeitos no comportamento físico e mecânico, e desempenho.

Tabela 1 – Formulações produzidas

Am.	Matérias-primas					
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
14	0,18	0,06	0,07	0,07	0,45	0,18
7	0,2	0,07	0,05	0,08	0,4	0,2
2	0,2	0,04	0,08	0,08	0,45	0,15
16	0,18	0,06	0,07	0,07	0,45	0,18
13	0,18	0,06	0,07	0,07	0,45	0,18
11	0,15	0,07	0,05	0,05	0,48	0,2
17	0,18	0,06	0,07	0,07	0,45	0,18
12	0,15	0,04	0,05	0,05	0,55	0,15
3	0,2	0,04	0,05	0,08	0,42	0,2
1	0,15	0,07	0,08	0,08	0,42	0,2
8	0,2	0,04	0,08	0,05	0,42	0,2
15	0,18	0,06	0,07	0,07	0,45	0,18
6	0,15	0,04	0,08	0,05	0,47	0,2
10	0,15	0,07	0,08	0,08	0,48	0,15
9	0,2	0,07	0,08	0,05	0,45	0,15
4	0,2	0,07	0,05	0,05	0,48	0,15
5	0,15	0,04	0,05	0,08	0,52	0,15

Para medir o efeito das matérias-primas nas propriedades reológicas do concreto, foi realizado um planejamento estatístico de mistura denominado *screening*. Considerando todas as matérias-primas do compósito não aditivado, o planejamento de misturas resultou em 17 formulações, expostas na Tabela 1. As matérias-primas utilizadas foram:

- ligante inorgânico: (A) cimento CPV-ARI;
- mat. suplementares: (B) sílica ativa, (C) cinza volante;
- *filler*: calcário (D);
- agregados: areia natural de quartzo (E);
- água (F).

O indicador de comportamento reológico foi o resultado do ensaio de *squeeze-flow* realizado em 3 tempos (5min, 15min e 30min após a mistura). Para a realização deste ensaio a produção de concreto foi padronizada, com moldagem de corpos de prova circulares ( $\varnothing = 100$  mm; h = 20 mm) não-confinados, e com aplicação de carga em velocidade constante de 10 mm/min na primeira fase do experimento, e com o deslocamento das placas da prensa fixo na segunda parte do experimento.

## 3. Resultados

A análise do efeito do tempo no comportamento reológico das misturas mostrou que, até 15min após a mistura, o fluxo do material não muda de comportamento, indicado pelo mesmo nível de carga medido por *squeeze-flow* ao término da compressão (Figura 1). Entretanto, a retenção da forma não apresentou mesma estabilidade nesta faixa de tempo, sendo observada a redução no nível de carga quando a amostra fica por 60s sob mesma condição de deslocamento dos pratos da prensa (Figura 1). Esta mudança pode ser devido à evaporação de água da amostra, o que reduz a pressão capilar entre as partículas, e consequentemente a sua coesão.

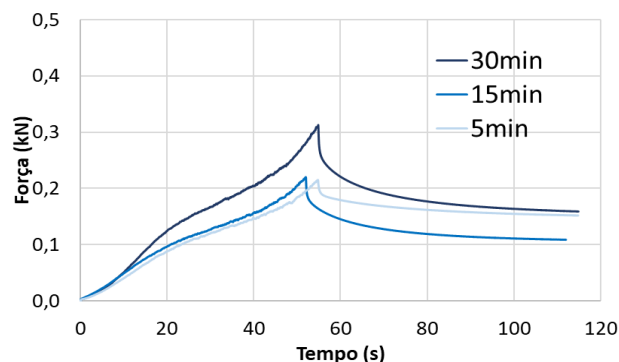


Figura 1 – Efeito do tempo no comportamento reológico (amostra 2)

A análise estatística dos efeitos das matérias-primas mostrou que os materiais com maior área específica contribuíram mais com a plasticidade das misturas, o que pode ser explicado pela maior pressão capilar no estado fresco conferido por estes materiais, nos níveis ótimos de umidade. A Figura 2 mostra que quanto maior a quantidade de sílica ativa presente na amostra, menor foi a relaxação na carga medida na segunda fase do ensaio de *squeeze-flow*. No entanto, a maior influência observada nesta mesma superfície da Figura 2, é da quantidade de fase pasta presente no concreto. Quanto maior a quantidade de fase pasta, ou seja, menor quantidade de areia, menor foi a relaxação da carga.

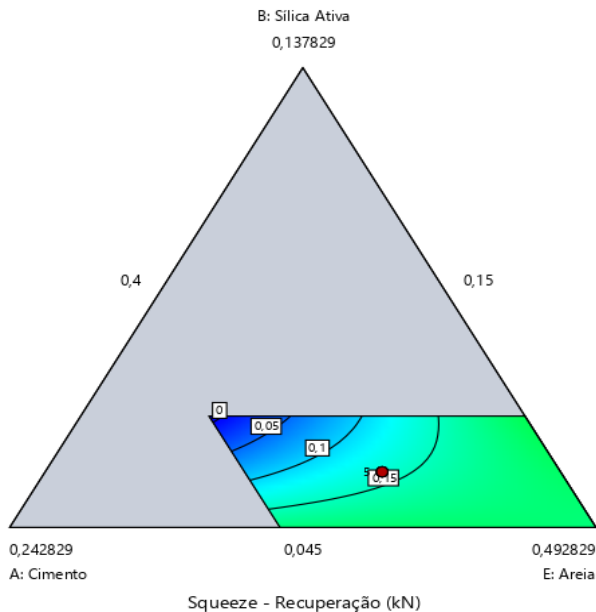


Figura 2 – Efeito das matérias-primas cimento, sílica ativa e areia na relaxação da carga na etapa 2 do ensaio de *squeeze-flow*

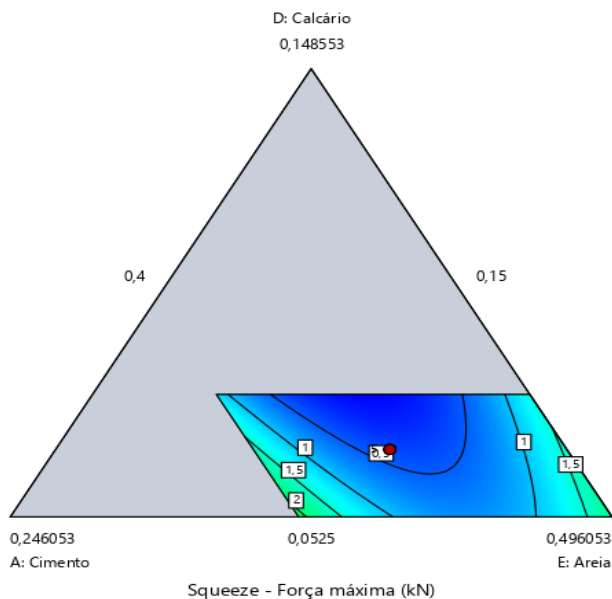


Figura 3 – Efeito das matérias-primas cimento, calcário e areia na carga máxima medida na etapa 1 do ensaio de *squeeze-flow*.

Quanto ao efeito das matérias-primas na facilidade de fluxo da mistura, a Figura 3 mostra que o calcário influencia positivamente no fluxo, uma vez que a sua quantidade reduz a carga máxima medida na primeira etapa do ensaio de *squeeze-flow*, o que mostra que este material, na umidade ideal, facilita o fluxo do compósito, atuando como fase lubrificante da movimentação das partículas maiores, que neste caso estudado se trata da areia natural.

#### 4. Conclusões

Os resultados obtidos até o presente estágio de desenvolvimento do trabalho é que a relação entre a quantidade de uma matéria-prima e as propriedades reológicas do compósito cimentício pode ser determinada por projeto estatístico de mistura, pois nesta situação são considerados os efeitos conjuntos de todas as matérias-primas simultaneamente. Além de viabilizar o estudo com a reduzida quantidade de misturas a serem realizadas, considera a sinergia e interferências de todos os materiais.

Observou-se também que os materiais com maior área superficial aumentam a plasticidade do material, medido pela capacidade da mistura em manter a sua geometria sob carregamento.

Por fim, o calcário pode ser um material necessário no ajuste das propriedades reológicas, pois tem pequeno tamanho de partículas (mesma ordem de grandeza das partículas de cimento), porém com menor área superficial. Desta forma contribui para facilitar o fluxo da mistura sem necessariamente aumentar demasiadamente a pressão capilar do sistema.

#### 5. Referências

- [1] PRADO, A.N.; MATTOS, É.C.A.; RODRIGUES, F.S. **MANUFATURA ADITIVA**: conceitos, aplicações e impactos na gestão. III Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação, Naviraí, 10 set. 2019

#### Agradecimentos

Ao Centro Universitário FEI pela infraestrutura disponibilizada e pelos recursos financeiros para a compra de materiais.

<sup>1</sup> Alunos da Equipe de Pesquisa e Inovação em Construção – EPIC – do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 04/21 a 12/21.