

Formulação de massa para impressão 3D à base de fração vermelha de RCC

3D printing paste formulation based on RCC red fraction

RESUMO

Gabriel Elias Toledo Ferreira
gabriel.etoledof@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

José Alberto Cerri
cerri@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Marcia Silva de Araújo
araujo@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Em busca de alternativas sustentáveis ao cimento Portland, um dos aglomerantes promissores é baseado na álcali-ativação de materiais ricos em sílica. Os resíduos de construção civil, no Brasil, são ricos em componentes cerâmicos. Tijolos, telhas e louças sanitárias são derivados de argilo-minerais e tem potencial para serem ativados alcalinamente quando finamente moídos e expostos a meios básicos. Paralelamente, o desenvolvimento de métodos construtivos mais rápidos e menos poluentes que método artesanal de construção de edifícios tem levado as empresas a recorrerem à impressão 3D em grande escala. A proposta deste trabalho é viabilizar o uso de cerâmica moída ativada alcalinamente com hidróxido de cálcio para alimentar uma impressora 3D de manufatura aditiva. Os resultados demonstram que a resistência mecânica da massa cerâmica tem capacidade de atender os requisitos da norma de alvenaria de vedação brasileira, mas que o controle da produção da massa ainda deve ser amplamente estudado e compreendido.

PALAVRAS-CHAVE: Manufatura aditiva. Construção civil. Resíduo.

ABSTRACT

Recebido:

Aprovado:

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



In search of sustainable alternatives to the Portland cement, one of the promising binders is based on the alkali-activation of sílica-rich materials. Building construction residues, in Brazil, are rich in ceramics compounds. Bricks, tiles and wares are made of clay and have the potential to be alkali-activated when finely grounded and exposed to basic medium. In parallel, the development of faster and less pollutant constructive methods then the handmade method of building construction led companies to resort to 3D printing in large scale. This work proposal is to make feasible the use of fine grounded brick powder, alkali-activated with lime, in a 3D printer based on additive manufacture. The results show that the mechanical resistance of the ceramic paste has feasibility to comply with the brazilian masonry regulation, although the control of the paste production must be widely studied and understood.

KEYWORDS: Additive manufacturing. Building construction. Waste.



INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados do Plano de Trabalho realizado no período entre setembro de 2019 e fevereiro de 2020, tendo sofrido interrupção nas atividades de laboratório a partir da suspensão das atividades na UTFPR devido aos desdobramentos da pandemia de COVID. Esta interrupção prejudicou o desenvolvimento do Plano de Trabalho, uma vez que as atividades seriam iminentemente laboratoriais.

A produção de cimento é uma das atividades com maior emissão de gás carbônico. O processo de clínquerização transforma a cal e argila em um produto reativo com a água, sendo denominado, portanto, cimento hidráulico. Este processo requer a queima da mistura em altas temperaturas, sendo que o desenvolvimento da tecnologia levou as atuais condições de produção que, para ser mais eficiente, utiliza fornos rotativos de alimentação contínua.

Tendo em vista este cenário, a busca por materiais cimentantes alternativos foi intensificada nos últimos anos. A descoberta mais promissora é a tecnologia de geopolimerização, desenvolvida e patenteada por Davidovits (2013). Entretanto esta opção é consideravelmente mais cara, apesar de apresentar desempenhos muito melhores que o cimento Portland, dentre eles resistência a altas temperaturas, resistência química ao ataque de sulfatos e alta durabilidade.

A ação pozolânica já é amplamente estudada. O cimento romano era confeccionado através da mistura de cal, cinza vulcânica e água. O próprio nome pozolana advém da região italiana de onde se retirava a melhor matéria-prima para confecção de concreto, aos arredores de Pozzoli. Entretanto, quando tal material se encontrava indisponível, a recomendação era que fossem utilizadas peças cerâmicas moídas (BLEZZARD, 2001). Matias *et al.* (2014) reportam também que inspeções da argamassa de antigas construções romanas detectaram a presença de argila tratada termicamente. Torgal e Jalali (2009) afirmam que todo material com alto teor de sílica é um potencial precursor de geopolímeros.

A ativação alcalina de resíduos cerâmicos mostra-se viável em diversos estudos, Tuyan *et al.* (2018) reportaram ter alcançado 36,2 MPa de resistência à compressão utilizando cerâmica moída, contudo neste caso o meio alcalino continha 10% de hidróxido de sódio. Outros autores relatam também a formação de $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (CSH) quando íons de cálcio estão presentes no sistema, sugerindo que o ganho de resistência pode ser obtido por meio deste meio alcalino. Em contrapartida, destinação adequada de resíduos sólidos da Construção Civil (RCC) ainda é um problema.

Apesar dos vários sucessos já relatados, a dificuldade de desenvolver materiais cerâmicos álcali-ativados consiste na alta variabilidade dos compostos, principalmente quando as fontes de sílica advêm de peças cerâmicas moídas. Muitos estudos utilizam grandes quantidades de silicato de sódio (Na_2SiO_2) ou hidróxido de sódio ou de potássio, matérias-primas de alto valor agregado, inviabilizando a aplicação em larga escala.

Em segundo lugar, tem sido crescente no cenário econômico mundial a tecnologia de impressão 3D. A aplicabilidade desta tecnologia em várias situações confere um ponto de inflexão na construção civil. Existem aplicações deste método construtivo com custo viável. Diversos materiais podem ser utilizados para

alimentar uma impressora 3D, entre eles o material cerâmico, que pode ser utilizado como componente da pasta.

Macioski (2018) mostrou ser possível obter matriz de fração vermelha com resistência mecânica satisfatória por meio da álcali-ativação de resíduos cerâmicos com hidróxido de cálcio devido a formação de CSH. Este estudo propõe a álcali-ativação de resíduos provenientes de blocos cerâmicos utilizando hidróxido de cálcio como reagente, bem como a adequação do comportamento da pasta para impressão 3D.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foram utilizados pó de bloco cerâmico moído com dimensão menor que 0,15 mm, referenciado no restante do estudo como fração vermelha (FV), argila utilizada em olaria, cal hidratada dolomítica CH-III e solução de silicato de sódio concentrado. Os materiais são os mesmos utilizados no estudo de álcali-ativação por cal hidratada realizado por Macioski (2017).

Para definir o procedimento de mistura mais eficiente, as composições e respectivos teores de água estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Quantidade em (g) de água adicionada em cada componente da pasta

	FV	Argila	Cal	Restante adicionado	Total
Mistura a seco	0,00	0,00	57,93	49,60	107,53
FV úmida e Argila seca	37,70	0,00	58,17	11,69	107,56
FV seca e Argila dispersa	0,00	11,91	59,25	36,50	107,66
FV úmida e Argila dispersa	37,08	11,92	58,89	0,00	107,89

Fonte: Autoria própria

Após o preparo das parcelas, os materiais eram misturados em argamassadeira para garantir homogeneidade da massa. As composições realizadas têm as proporções indicadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Quantidade de água adicionada em cada componente da massa

exp.	Argila	H ₂ O na arg.	Cal	H ₂ O de hidratação	FV	% de Silicato de Sódio	H ₂ O faltante
1	28,45g	18,72g	115,60g	96,09g	255,96g	0	57,19g
2	28,45g	18,91g	115,60g	91,29g	255,96g	0,0011	61,80g
3	28,45g	19,24g	115,60g	94,04g	255,96g	0,0021	58,72g
4	28,45g	19,21g	115,60g	92,77g	255,96g	0,0021	60,02 g
5	28,45g	22,36g	115,60g	91,75g	255,96g	0,0032	57,89g
6	28,45g	19,35g	115,60g	92,49g	255,96g	0,0042	60,16 g
7	28,45g	18,79g	115,60g	93,62g	255,96g	0,0042	59,59g
8	28,45g	19,32g	115,60g	91,06g	255,96g	0,0049	61,62 g
9	28,45g	19,47g	115,60g	92,02g	255,96g	0,0063	60,51 g
10	28,45g	18,98g	115,60g	91,22g	255,96g	0,0074	61,80g

Fonte: Autoria Própria

A argila utilizada foi estudada quanto ao comportamento da viscosidade utilizando-se um viscosímetro Brookfield. A análise foi realizada com soluções contendo 60% de argila, com adições de silicato de sódio que variaram de 0,11% a 1,5% em massa em relação à parcela de argila.

A análise destas suspensões utilizou a modelagem de Power-Law para determinar a viscosidade aparente. O índice de escoabilidade foi fornecido pelo software do RheoCalc.

PROTOTIPAGEM DE IMPRESSÃO 3D

Três requisitos devem ser atendidos para a confeccionar as peças com a massa cerâmica: (a) extrusabilidade; (b) resistência mecânica; (c) desempenho em impressão 3D.

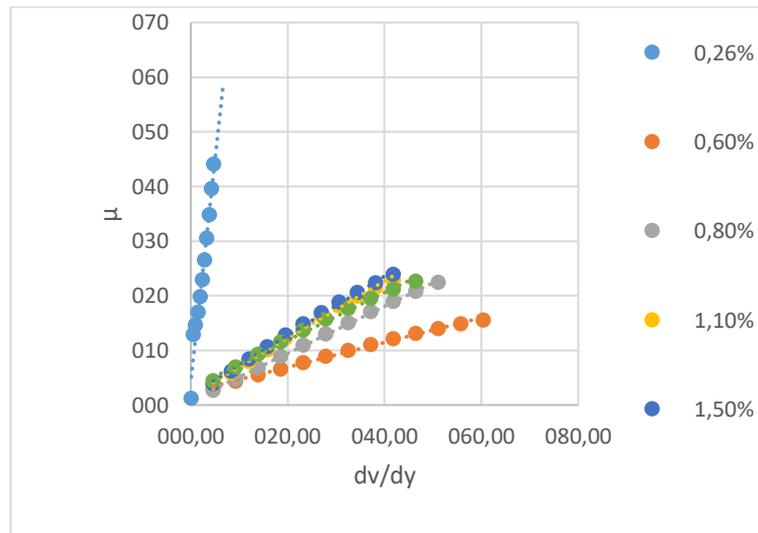
RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANÁLISE REOLÓGICA DA ARGILA

A análise do comportamento da argila de acordo com a concentração de silicato de sódio adicionado apresentou os resultados dispostos na Figura 1.

A composição que apresentou menor resistência ao cisalhamento foi a mistura de 0,6 % de silicato de sódio em relação à massa de argila. Percebe-se que esta mistura admitiu a maior taxa de rotação (dv/dy) e apresentou as menores viscosidades aparentes (μ).

Figura 1 - Comportamento reológico da argila com silicato de sódio



Fonte: Autoria própria

COMPORTAMENTO DAS COMPOSIÇÕES

O Quadro 3 resume os resultados obtidos na primeira etapa do estudo. Percebe-se que a mistura a seco apresentou a menor plasticidade associada a maior resistência à compressão. Entretanto, quando a FV é adicionada seca com a argila previamente umedecida, o material apresenta a melhor relação entre resistência à compressão e plasticidade. Portanto este método foi considerado o mais adequado para obter as amostras para os experimentos.

Quadro 3 - Resultados das condições de mistura

	Resistência à compressão (MPa)	Plasticidade	Umidade verificada (%)
Mistura a seco	1,4	1,9	41,62
FV úmida e Argila seca	1,2	2,0	40,69
FV seca e Argila dispersa	1,3	2,1	37,92
FV úmida e Argila dispersa	1,2	2,1	40,15

Fonte: Autoria Própria

IMPRESSÃO DE PEÇAS CERÂMICAS

Os testes realizados mostraram a necessidade de deposição da massa com compressão para que houvesse estabilidade dimensional das camadas, Figura 2.

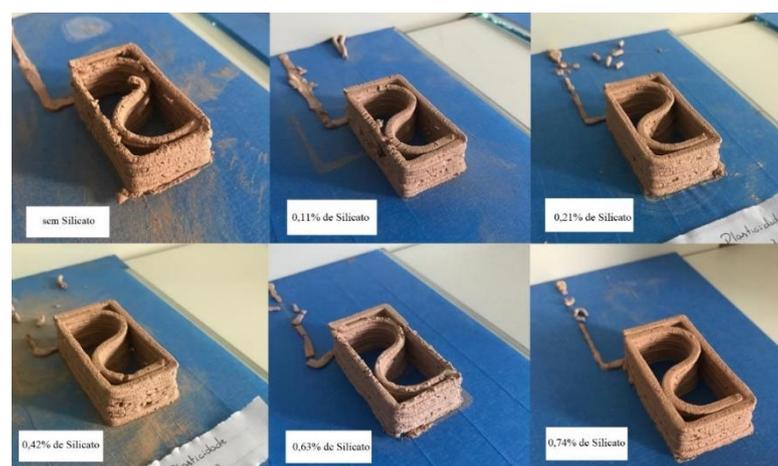
Figura 2 - Impressão da pasta com achatamento dos filamentos



Uma das qualidades de interesse da massa é a capacidade de permanecer em constante fluidez. Foi verificado ao longo de vários experimentos que a composição cerâmica carece da capacidade de reter a água de mistura durante a compressão.

Quanto à qualidade das peças, observa-se que após período de cura, um dos maiores desafios se mostra na integridade, que após secagem apresentam muitas fissuras. Os protótipos podem ser vistos na Figura 3.

Figura 3. Amostras de impressão com variação do silicato de sódio



Fonte: Autoria própria

CONCLUSÕES

Foi possível identificar que a melhor maneira de confeccionar a mistura é por meio da mistura a seco do pó de bloco cerâmico, enquanto a argila deve ser umedecida para que o comportamento plasticizante seja mais efetivo.

Quanto a impressão 3D, pode-se concluir que:

- há necessidade de achatamento da camada impressa para melhorar a adesão e estabilidade das próximas camadas;
- houve dificuldade em obter pasta coesa, sendo comum a exsudação de água durante a extrusão e a facilidade em reter bolhas de ar, as quais promovem falhas, além de aumentar a força necessária para extrusão;
- além do alto índice de retração e fissuração das massas, o material mostra-se pulverulento apesar da boa resistência mecânica e,
- foi observada a alta variabilidade das características físicas da pasta de impressão indicando a necessidade de encontrar o ponto de plasticidade ótima.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Fundação Araucária pela bolsa de iniciação tecnológica.

REFERÊNCIAS

DAVIDOVITS, J. -Geopolymer cement review 2013. Disponível em: <https://www.geopolymer.org/library/technical-papers/21-geopolymer-cement-review-2013/>. Acesso em 20 de mar. 2020

BLEZZARD, R.G. 'The history of calcareous cements', Lea's Chemistry of cement and concrete. In: HEWLETT, P. C. ed. Butterworth-Heinemann. Oxford, p 1 – 23, 2001

MATIAS, G.; FARIAS, P.; TORRES, I. Lime mortars with ceramic wastes: characterization of componentes and their influence on the mechanical behavior. Construction and Building Materials. Elsevier, v.73, 2014, pp 523-534.

TORGAL, F.P.; JALALI, S. Ligantes obtidos por activação alcalina. Universidade de Minho, Departamento de Engenharia Civil. Guimarães, 2009. p. 152.

TUYAN, M.; ANDIÇ-ÇAKIR, Ö.; RAMYAR, K. Effect of álcali activator concentration and curing condition on strenght and microstructure of waste clay brick poder-based geopolymer. Composites Part B: Engineering, v.135, 2018, pp. 242-252.

ZAWRAH, M. F. et. al. Recycling and utilization assessment of waste fired clay bricks (Grog) with granulated blast-furnace slag for geopolymer production. Process Safety and Environmental Protection, 2016, pp. 237-251.

MACIOSKI, G. Estudo da álcali-ativação de pó de blocos cerâmicos com cal hidratada. 2017. p. 174. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.