

Sistema mecânico de impressora 3D cerâmica por extrusão

Ceramic 3D printer mechanical system by extrusion

RESUMO

Guilherme Manoel Mathias
guilhermemathias@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

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

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

A região de Campo Largo – PR é um tradicional polo do setor cerâmico, sendo considerada como a capital da louça, entretanto as empresas apresentam baixo grau de inovação no processo de fabricação. A introdução da técnica de impressão cerâmica 3D poderia atender parte das necessidades desse mercado com peças exclusivas, proporcionando liberdade de criação, melhor uso de mão de obra, evitar o descarte de moldes de gesso, e consequentemente, maior lucratividade. Para desenvolvimento do protótipo de uma impressora de mesa cerâmica foi utilizado como base um modelo Prusa. Essa impressora é utilizada para extrusão de polímeros e possui código aberto. As modificações implementadas foram suficientes para a extrusão de uma faiança comercial com índice de plasticidade igual à 5.

PALAVRAS-CHAVE: Impressora 3d. Cerâmica. Extrusão.

ABSTRACT

Campo Largo - PR region is a traditional pole of the ceramic sector, being considered as the tableware capital, however the companies present a low degree of innovation in the manufacturing process. The introduction of the 3D ceramic printing technique could meet part of the needs of this market with exclusive pieces, providing freedom of creation, better use of labor, avoid plaster molds disposal, and consequently, greater profitability. To develop the prototype of a small ceramic printer, a Prusa model was used as the base. This printer is used for extrusion of polymers and has open source. The implemented changes were sufficient for the extrusion of a commercial faience with a plasticity index equal to 5.

KEYWORDS: 3d printing. Ceramic. Extrusion.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

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



INTRODUÇÃO

A fabricação de peças cerâmicas abriga amplo mercado e proporciona lucratividade para a região de Campo Largo - PR, um importante polo desse ramo segundo o SENAI (2015). A maioria destas empresas ainda produzem de maneira artesanal, seja por colagem de massa fluida (slip casting) ou torneamento (jigging) (IPARDES, 2006). Em “Análise de um aplicativo para formação técnica de preços em microempresas de cerâmica decorativa”, Carvalho et al. (2012) descrevem o aplicativo em ambiente Microsoft Excel[®] que permite calcular e registrar as peças vendidas pela empresa Belmar Cerâmica Artesanal, pertencente ao proprietário Luiz Antônio Chiquitti. Os autores separam os custos envolvidos das peças em 5 categorias: Massa, Estufa, Forno, MOD (Mão de obra direta) e CIF (Capacidade de produção por ciclo), e demonstraram que peças cerâmicas pequenas demandam grande uso de MOD, que chega a 95% do custo/peça.

Para atender a demanda da produção, a empresa precisa de muitos moldes para a fabricação dessas peças, que exigem espaço de armazenamento dentro da empresa, além de um alto custo financeiro de manutenção, causado pelo desgaste dos moldes. O que torna inviável a produção destas peças para venda de pequenos lotes. De modo a estimular a produção e lucratividade, se faz necessário o desenvolvimento de tecnologia nacional adequada às necessidades do setor e sua realidade. As vantagens da manufatura aditiva são: prezar por liberdade de criação, permitir a criação de peças de maior complexidade e a possibilidade de serem ocas, gerando menor peso.

MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira etapa da pesquisa incluiu uma visita técnica à empresa Cerâmica Cericamp em Campo Largo, pertencente a Luiz Antônio Chiquitti para conhecer o processo de fabricação e as necessidades e dificuldades da empresa. Na sequência, foi feita uma análise do ERP (Enterprise Resource Planning ou Planejamento de Recursos Empresariais) denominado "Gestão de Microempresa Cerâmica", registrado em 2017 no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) com o número: BR512017000106-5, de autoria de ARAÚJO, M. S.; CERRI, J. A.; PREIZNER, I. M.; CARVALHO, L.B.; FERREIRA, S. T. de M.; BARBOZA, A. O. Esse ERP está na forma de um aplicativo em ambiente Microsoft Excel[®] e vem sendo usado desde 2011 pelo microempresário Luiz Antônio Chiquitti.

Na segunda etapa, um estudo foi desenvolvido acerca do material cerâmico que iria ser impresso. Era necessário saber as propriedades da massa, tal como: densidade aparente, plasticidade e teor de água, de modo a definir o volume máximo a ser impresso. A faiança adquirida era uma massa plástica na forma de um tarugo extrudado. Foi utilizada a massa específica de 1800 kg/m³ da faiança úmida para a realização dos cálculos

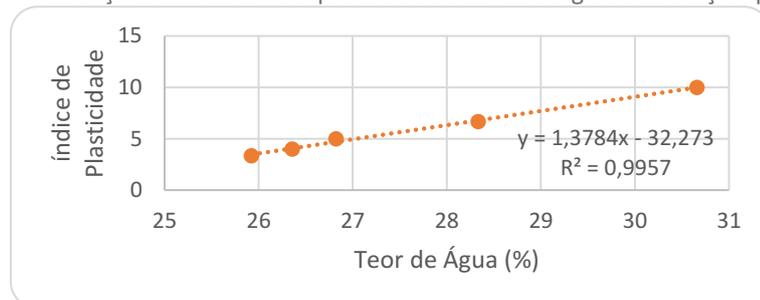
A linha de pesquisa adotada para o desenvolvimento da impressora seguiu a metodologia sugerida por Pearce e Oberloier (2017), que incentiva o uso de projeto de código aberto, assim como de peças comerciais caso a peça projetada não apresente solução fácil de fabricação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao analisar os dados das peças da empresa Belmar, verificou-se que o volume de 500 ml de reservatório correspondia a 30% das 429 modelos produzidos, contudo, o objetivo primário era a impressão de peças pequenas que foram fixadas em menores ou iguais a 20 cm (nas três dimensões). Portanto, para pequenas unidades impressas, o reservatório de 500 ml atende 66% das peças menores do que essa cubagem de (20x20x20) cm. Porém, na pesquisa de mercado, não encontramos um reservatório tipo seringa de injeção com volume e aplicação correspondente com nosso propósito. Para minimizar custos de fabricação e possível usinagem, optamos pela escolha de uma seringa de 300 ml disponível no mercado. A utilização do reservatório de 300 ml atende a 19% dos 429 modelos e 42% dos 196 modelos fabricados pelas empresas com cubagem inferior a (20x20x20) cm. As porcentagens são relativas à impressão sem interrupção, ou seja, sem a necessidade de reabastecimento no meio do processo.

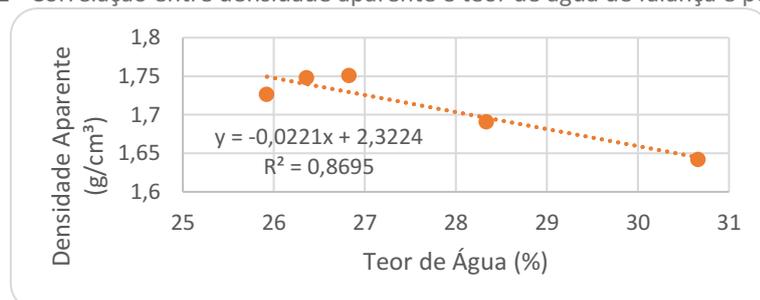
De modo a conhecer a correlação entre a plasticidade, densidade e o teor de água foram determinados os modelos matemáticos. Nos gráficos das Figuras 1, 2 e 3, as equações da reta e respectivos coeficientes de determinação (R^2) são apresentados para a Faiança. Quando mais o valor de R^2 se aproxima do valor máximo 1, melhor o modelo matemático representa os dados obtidos experimentalmente, não se considera que há correlação para valores menores que 0,6. Assim, todos os modelos são válidos, o que permite controlar a plasticidade pelo teor de umidade e manter constante o volume extrudado, visto que para uma dada plasticidade há uma densidade aparente correspondente. Os testes na impressora prosseguiram com massa de faiança com índice de plasticidade igual a 5.

Figura 1 - Correlação entre índice de plasticidade e teor de água de faiança e porcelana



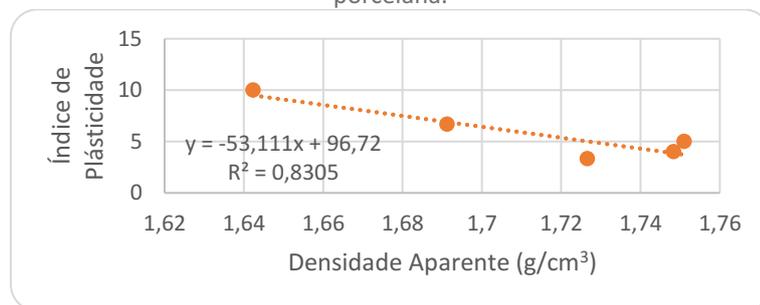
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 2 - Correlação entre densidade aparente e teor de água de faiança e porcelana.



Fonte: Autoria própria (2020).

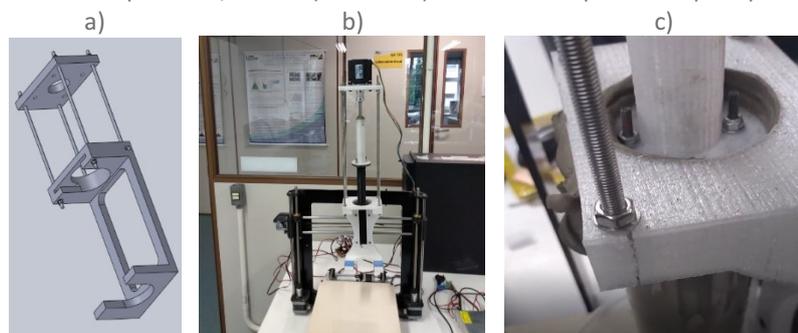
Figura 3 - Correlação entre índice de plasticidade e densidade aparente de faiança e porcelana.



Fonte: Autoria própria (2020).

O protótipo de impressora cerâmica de mesa, apresentado na Figura 4, surgiu da constatação de que num sistema de alimentação externo à estrutura grande parte da força do motor era destinada ao transporte de massa pelos tubos. Com o intuito de evitar o uso de tubos de alimentação, o reservatório de massa cerâmica e o bico de extrusão foram unificados, num sistema de alimentação denominado Sistema 1. Nesta configuração, com motor de passo Nema 23, houve a extrusão de material, porém ocorreu fratura nas peças de apoio da impressora, visto a sobrecarga ocasionada pelo sistema de alimentação com quase 2 kg de massa cerâmica. A fratura não ocorreu pela força exceder o limite de escoamento do PLA, as fraturas das peças de apoio ocorreram por fadiga, pela vibração do motor e do conjunto que estava suspenso.

Figura 4: Projeto do sistema de alimentação, à esquerda, e, após impressão, presa à estrutura da impressora, centro (sistema 1) e à direita suporte rompido por fadiga

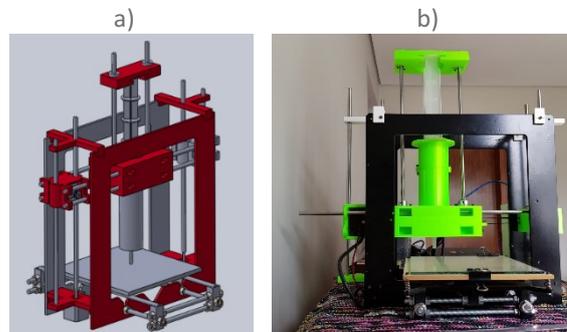


Fonte: Autoria própria (2020).

Com o intuito de tornar o Sistema 1 mais rígido e evitar a quebra das peças de suporte impressas por fadiga, foi implantado outro arco de sustentação de aço e o sistema que empurra o êmbolo foi realocado para baixo, eliminando boa parte da vibração, denominado sistema de alimentação 2. As peças em vermelho na imagem à esquerda da Figura 5 foram reprojetaadas de modo a se adequar aos dois arcos de suporte, que podem ser vistas impressas em verde na mesma figura à direita. Para ganhar espaço em vez de um motor de passo Nema 23 foi colocado 2 motores de passo Nema 17 e as peças de suporte foram reprojetaadas. Conforme as adaptações foram atualizadas, a peça central tornou-se maior e mais pesada por conter: dois motores de passo Nema 17, o reservatório preenchido com massa cerâmica e ainda o conjunto de barras e êmbolo. Infelizmente, esses dois motores

não foram suficientes para imprimir a massa, apenas deslocar o sistema sem massa. Será ainda necessário adicionar aos motores redutores planetários.

Figura 5: As peças em vermelho foram impressas em verde adequando-se a dois arcos de suporte (sistema 2)



Fonte: Autoria própria (2020).

Comparando as impressoras com os 2 sistemas de alimentação, ambos fixos à estrutura, constatou-se que o Sistema 1 apresentou flambagem, vibração e baixo aproveitamento de altura de impressão, enquanto o Sistema 2 (Figura 5) que possui menor altura, não parece apresentar carga para flambagem por se apoiar nos dois arcos.

CONCLUSÕES

Um reservatório mesmo que de 300 ml acoplado a estrutura da impressora Prusa aumentou muito a altura do sistema de alimentação, deixando as peças impressas a mercês de um esforço em balanço durante a impressão, o que levou ao surgimento de trincas na peça por fadiga, a solução foi adicionar mais um quadro de aço e assim tornar o sistema mais rígido. Outra solução aplicada foi deslocar o motor para baixo, o que exigiu o reprojetado das peças impressas.

A inserção da impressora 3D cerâmica impactaria de maneira significativa na forma de produzir com relação aos processos tradicionais. Dentre vários aspectos, destacam-se: o custo de produção com economia no custo de mão de obra para fabricar pequenas peças e redução de custos de manutenção de moldes; o controle de parâmetros de processo como índice de plasticidade da massa e densidade da massa, que são diretamente correlacionados ao teor de água, para acertar a velocidade de impressão e velocidade de extrusão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq ao promover o incentivo e as diretrizes de pesquisa universitária, em parceria com Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – PIBITI. E ao Sr. Luiz Antônio Chiquitti da empresa Belmar. Agradeço enormemente aos professores orientadores.

REFERÊNCIAS

- BRAGANÇA, S. R.; BERGMANN, C. P. Microestrutura e propriedades de porcelanas. *Cerâmica*, São Paulo, v. 50, n. 316, p. 291-299, Dec. 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132004000400003. Acesso em: 01 set. 2020.
- CARVALHO, L. B., BARBOZA, A. O., ARAUJO, M. S. e CERRI, J. A. Análise de um programa para formação técnica de preços em microempresas de cerâmica decorativa. *In: 56º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2012 Curitiba. Anais...Curitiba: ABCERAM, 2012.*
- GARCIA, L. H. **Desenvolvimento e fabricação de uma mini-impressora 3D para cerâmicas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Projeto Mecânico) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18146/tde-30052011-124131/en.php>. Acesso em: 01 set. 2020.
- IPARDES. Arranjo produtivo local de louças e porcelanas de campo largo – um estudo de caso, 2006. Disponível em: http://www.ipardes.pr.gov.br/sites/ipardes/arquivos_restritos/files/documento/2020-03/RP_apl_porcelanas_campo_largo_2006.pdf. Acesso em: 01 set. 2020.
- PEARCE, J. M., OBERLOIER, S. general design procedure for free and open-source hardware for scientific equipment. *Designs*. 2017 Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322239790_General_Design_Procedure_for_Free_and_Open-Source_Hardware_for_Scientific_Equipment. Acesso em: 01 set. 2020.
- CHEN, Z., LI, Z., LI, J., LIU C., LAO, C., FU, Y., LIU, C., LI, Y., WANG, P., HE, Y. 3D printing of ceramics: a review. *Journal Of The European Ceramic Society*, [S.L.], v. 39, n. 4, p. 661-687, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.11.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221918306782>. Acesso em: 01 set. 2020.
- ZAPAROLLI, D. (2019). O avanço da impressão 3d. *Revista Pesquisa Fapesp*. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/o-avanco-da-impressao-3d/>. Acesso em: 01 set. 2020.