

PROJETO DE BERÇOS PRODUZIDOS POR MANUFATURA ADITIVA EM PROCESSO FABRIL DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Rafael Cerqueira Di Paolo

Valter Estevão Beal

Bruno Caetano dos Santos Silva

Centro Universitário SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845 - Piatã, Salvador, Bahia, Brasil
rafael.dipaolo@fbter.org.br; valtereb@fieb.org.br; bruno.silva@fieb.org.br

Resumo: Atualmente as empresas buscam sempre aumentar a sua competitividade de mercado por meio de soluções que aumentem a sua produtividade. No ramo civil a duração de uma obra pode ser utilizada como indicador de tal fator. Em uma linha de produção de revestimentos cerâmicos para acabamento de paredes, existe uma operação de organização e a colagem de revestimentos cerâmicos em tela que facilita a instalação do revestimento na obra, aumentando a produtividade e reduzindo o tempo total da construção, fator que muitas vezes é determinante para a escolha de uma construtora. Esta etapa necessita de berços que ajudem na orientação, espaçamento e posicionamento entre as pastilhas cerâmicas. Os berços eram importados da Itália e possuíam alto custo. Além disso, o fornecedor não queria adequar o espaçamento entre as pastilhas para o exigido para o mercado brasileiro. Um fornecedor nacional chegou a fornecer solução moldada por vazamento de resina, porém com elevado custo e baixa resistência e vida útil. Tendo em vista o dito, o presente artigo mostra as etapas do desenvolvimento de um novo design para o berço feito em PA12 através do processo de manufatura aditiva, HP Multi Jet Fusion, onde ao final foram fabricados berços de teste para validação junto a empresa solicitante. Para atender as dimensões do berço com relação a cuba da máquina, o projeto foi fragmentado em 9 partes com peças padronizadas e uma junta de conexão apropriada, considerando as folgas e tolerâncias do processo de manufatura aditiva e o espaçamento entre a pastilhas. Uma grade central foi adicionada para facilitar o posicionamento das pastilhas cerâmicas no berço e aumentar a produtividade dos operadores. A proposta em teste atendeu aos requisitos e encontra-se em operação na fábrica de revestimentos. Apesar do custo ter ficado acima do fornecedor anterior, a disponibilidade e qualidade alcançada proporcionaram ganhos para a empresa, mostrando a viabilidade da manufatura aditiva para a aplicação.

Palavras-chave: Manufatura aditiva; Azulejo; Plate localizador; PA12

1. INTRODUÇÃO

No ramo civil, o tempo em que uma construção em entregue e se torna disponível para o uso é muitas vezes vital para o cliente determinar qual empresa irá realizar o trabalho, com isso, o mercado consumidor vem exigindo mais das empresas que apresentem maior qualidade nos serviços prestados e produtos utilizados como diz Scharff e Herrmann (2020). Com o intuito de atender as demandas, existem práticas, processos e produtos que tem como objetivo aumentar a produtividade e por consequência, acabam diminuindo o tempo total da construção, como exemplo, a utilização de uma betoneira ao invés do processo manual, para a fabricação do concreto.

Além das construtoras é importante que as fabricantes também participem deste processo de desenvolvimento em busca da maior produtividade, por isso produtos que possuam facilidade de instalação são de suma importância. Com esse viés as empresas de revestimento cerâmicos produzem uma matriz de pastilhas cerâmicas organizadas e coladas, como mostra a Fig. 1, para que no processo de aplicação das pastilhas na superfície não seja preciso ser feito um-a-um, e sim vários por vez. A fabricação desta matriz se dá utilizando um berço, como gabarito, para que se possa posicionar as pastilhas cerâmicas nos determinados lugares e posteriormente aplicar o adesivo tornando assim o processo mais rápido e preciso visto que a distância entre os azulejos é padronizada pela região de aplicação do mesmo.



Figura 1. Matriz de pastilhas cerâmicas
(Arquidicas, 2022)

Para empresa que produz os revestimentos, este berço era fabricado na Itália, porém a peça apresentava baixa vida útil, em torno de 6 meses, e alto custo, além disso o fornecedor não queria adequar os espaçamentos entre os azulejos. Um fornecedor, no Brasil, apresentou uma solução por meio de vazamento de resina em molde, porém com baixa resistência e alto custo.

A manufatura aditiva (MA) vem ganhando cada vez mais espaço no ambiente de fabricação, se tornando um excelente substituto para os processos de manufatura convencionais. Ela pode ser definida como sendo um processo de fabricação através da adição de material, camada por camada (*layer-by-layer*), para a formação de uma peça por meio de um modelo 3D eletrônico. Desta forma, ela difere da usinagem, por exemplo, que confecciona uma peça através da retirada de material (RODRIGUES et al, 2017).

Outra grande diferença que segundo Linkea (2017) é a não necessidade de grandes investimentos no processo de fabricação quando há uma mudança no produto, onde os processos convencionais essa mudança gera modificação de máquinas, ferramentas e etapas no processo de manufatura. Essas diferenças podem ser bastante aproveitadas para a indústria de cerâmicos onde há a criação de modelos deferentes.

Desta forma, visto a versatilidade e aplicação das tecnologias de Manufatura Aditiva, este trabalho buscou a substituição do berço importado e do nacional feito em resina vazada em molde de silicone, através da tecnologia HP Multi Jet Fusion. Nesse contexto, foi realizado o reprojeto para obter o melhor da tecnologia e o berço foi fabricado e testado na linha de produção das pastilhas cerâmicas.

2. METODOLOGIA

A figura 2 apresenta o fluxo de trabalho executado durante o desenvolvimento do berço. Na primeira etapa foi avaliado os materiais disponíveis e possíveis métodos de MA a serem empregados. Por seguinte, o reprojeto do berço, considerando que as dimensões de construção da máquina de MA possuem limitações e este precisa ser segmentado em partes para posterior união. Por fim, uma análise econômica dos custos da impressão 3D em relação aos métodos atuais de fabricação do berço.

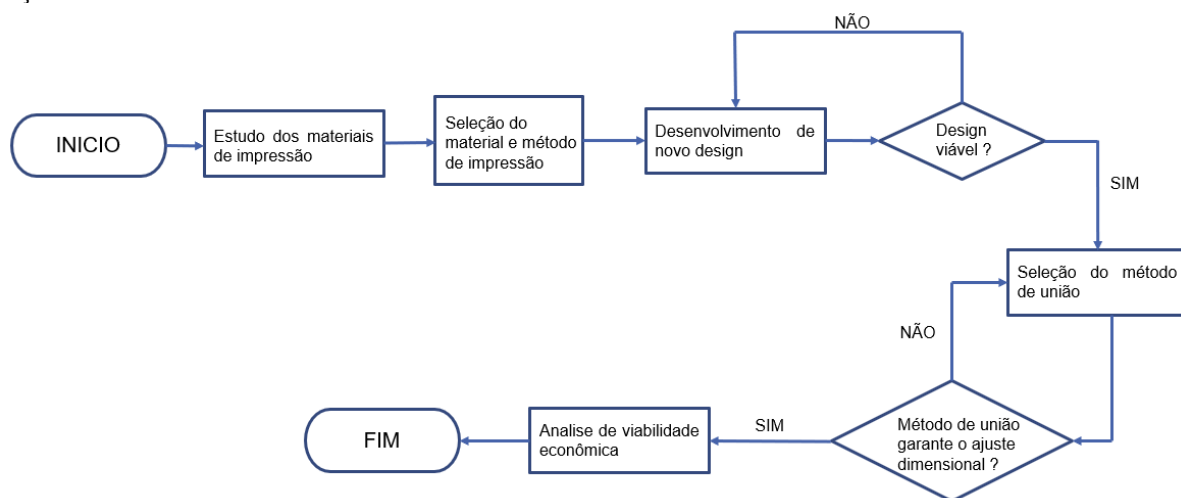


Figura 2. Fluxograma de trabalho
(Própria, 2022)

Como um dos limitantes é a temperatura de trabalho do berço, que deve suportar a temperatura que os azulejos chegam nesta etapa do processo, em torno de 90 °C, a primeira etapa do desenvolvimento foi o estudo dos materiais a serem utilizados na impressão, pois a constante variação de temperatura gera uma dilatação e contração na peça e caso o material não suporte, trincas, deformações e fraturas podem surgir.

Desta forma, foi selecionado o material utilizado junto com o método de impressão, onde o método de impressão selecionado foi o HP MJF (*Multi Jet Fusion*). Este processo de MA se enquadra na categoria de Fusão em Leito de Pó (*Power Bed Fusion*) pois utiliza uma fonte de calor para realizar a fusão do material em pó. Segundo Morales et al (2018), a boa velocidade de construção, o bom acabamento superficial e a boa precisão dimensional ($\pm 0,2\%$) tornam este método atraente.

O material de impressão escolhido foi o PA12 (Poliamida 12) micronizada para MJF da fabricante HP. Segundo O'Connor, Dickson e Dowling (2018) este material é um dos mais utilizados pelo processo MJF pois a sua temperatura de fusão é maior que a de cristalização, retardando assim o processo de recristalização durante a fabricação, ocasionando em uma redução do acúmulo de tensões residuais, distorções na peça e elevada precisão dimensional. E segundo a empresa Ensinger (2020) o PA12 possui temperatura de serviço de curta duração de 150 °C e de longa duração de 110 °C atendendo as propriedades requeridas para a aplicação.

Na sequência foi feito o modelo 3D do berço feito no Brasil, como base do projeto, utilizando o *software* CAD SolidWorks. Ajustes foram feitos para reduzir o material utilizado, então foram feitas modificações no projeto da peça, reduzindo massa e geometrias não fossem necessárias. A avaliação da sua viabilidade foi necessária, pois existem limites para a fabricação das peças, como o tamanho da cuba e mínima espessura de parede.

Por conta de as dimensões da peça final serem maiores que a cuba de impressão foi necessário repartir o modelo, porém como o mesmo, na linha de produção está unido, foi preciso selecionar um método de união com base nos apresentados no HP *Multi Jet Fusion Handbook* (2019) disponibilizado pela HP, que garantisse a precisão dimensional requerida.

Ao final foi feita uma análise de ganhos desse novo projeto, como redução de massa e praticidades adquiridas, assim como a análise de viabilidade econômica.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1. Design

O modelo original do berço fabricado no Brasil tinha um formato de matriz de 3x3 que possui 300x300 mm e a matriz fabricada pela empresa possui o formato de matriz de 6x6 de 600x600 mm, por isso eram utilizadas 4 peças para se atingir a organização desejada. Para o novo design, foi feito o modelo 3D da peça original fabricada no Brasil. Esse processo se deu pela medição das dimensões por meio de um paquímetro analógico, e por ter valores muito maiores que os mínimos recomendados, foi feita uma adequação dimensional para 4 vezes o valor mínimo de espessura de parede recomendado pelo HP *Multi Jet Fusion Handbook* (2019), chegando ao modelo representado na Fig. 3 onde as únicas dimensões que devem ser mantidas são as das pastilhas cerâmicas que deve ter 97x97 mm e o espaçamento entre as pastilhas que deve ser de 3 mm.



Figura 3. Modelo 3D da peça original com ajuste dimensional
(Própria, 2022)

Porém notou-se que somente esta mudança não geraria mudanças significativas e não seria aproveitado todo o potencial de se fazer o berço por manufatura aditiva e a cuba de impressão não suportaria as dimensões da peça original. Então, na sequência foram feitas duas alterações no modelo, como mostra a Fig. 4:

- A alteração do formato das partes vazadas que eram no formato circular com 60 mm de diâmetro e passaram a ser quadrado de 73x73 mm de lado, e por conta desta modificação foi necessário reposicionar os furos que tem a função de fixar o berço no tablado que movimenta os azulejos;

- Uma nova divisão da matriz 6x6 com peças no formato 3x3 para peças no formato 2x2 que possuem 200x200 mm utilizando 9 partes para se chegar na matriz desejada.

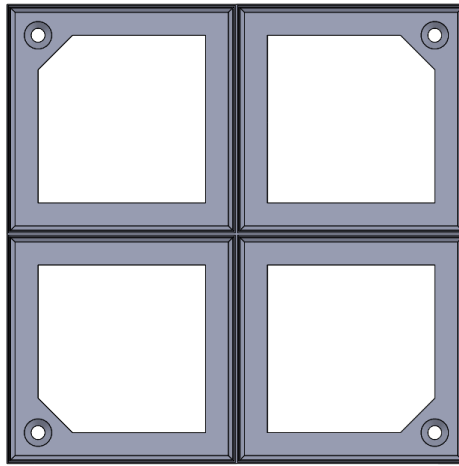


Figura 4. Primeira versão do berço
(Própria, 2022)

3.2. Grade para suporte

No processo de posicionamento dos azulejos no berço um braço robótico com ventosas na ponta solta as pastilhas nas suas respectivas posições, porém no desprendimento algumas pastilhas acabam se deslocando e ficam mal colocadas, então um funcionário arruma as pastilhas manualmente para a próxima etapa. No momento em que o funcionário vai ajustar as pastilhas os seus cantos podem se travar na parte vazada do modelo apresentado na Fig. 4 gerando atrasos no processo. Por isso a solução desenvolvida para sanar este problema foi a inclusão de uma grade central que impeça que as pastilhas passem pela parte vazada, como mostra a Fig. 5.

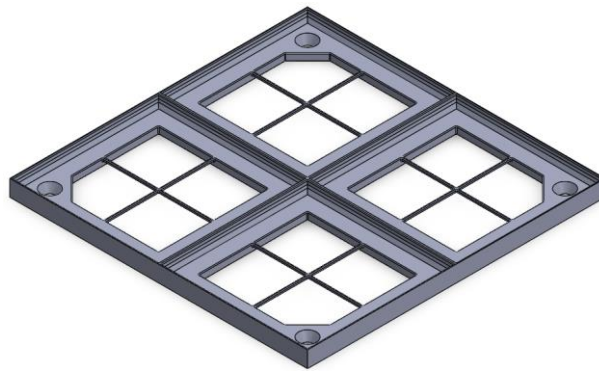


Figura 5. Segunda versão berço
(Própria, 2022)

As pontas do suporte foram posicionadas no centro de cada aresta em que ela está posicionada, sem considerar o chanfro em decorrência dos furos, a altura do suporte foi de 2 mm e a largura de 1.5 mm.

3.3. Separação em partes e método de união

Como uma das limitações da fabricação é o tamanho da cuba de impressão, que possui 380x284x380 mm como mostra a Fig. 6, versus a da peça que teria 300x300 mm tornando não possível a impressão orientada em XY com as dimensões atuais. Era recomendada que a impressão fosse feita no plano XY pois a impressão nos planos XZ ou YZ resultariam numa impressão de uma cuba completa com um pequeno percentual de material impresso. Desta forma, foi feita uma nova divisão das peças para partes com formato matricial em 2x2 com 200x200 mm para atender a orientação de impressão.

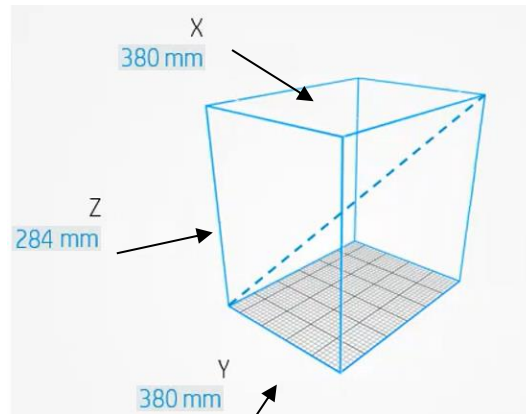


Figura 6. Dimensões da cuba de impressão HP Multi Jet Fusion 5200.
(HP, 2021)

Com a nova divisão do berço tendo 9 peças ao invés de 4 apenas a fixação por meio de parafuso não seria o suficiente para garantir uma precisão dimensional de espaçamento entre as peças, por isso utilizou-se um método de união junção das partes que garantisse que as distancias entre os azulejos, assim como o seu alinhamento, estivessem de acordo com o requisitado.

Como método de união o HP *Multi Jet Fusion Handbook* (2019) recomenda 4 métodos de união de parte separadas, como indica a Fig. 7 a), b), c) e d), a serem unidas com uma cola, que na maioria dos casos é o adesivo instantâneo. Além da precisão dimensional, a área de superfície é um dos fatores mais importante no processo de união de partes, pois é ela que ira garantir que o adesivo aplicado tenha contato suficiente para unir as peças.

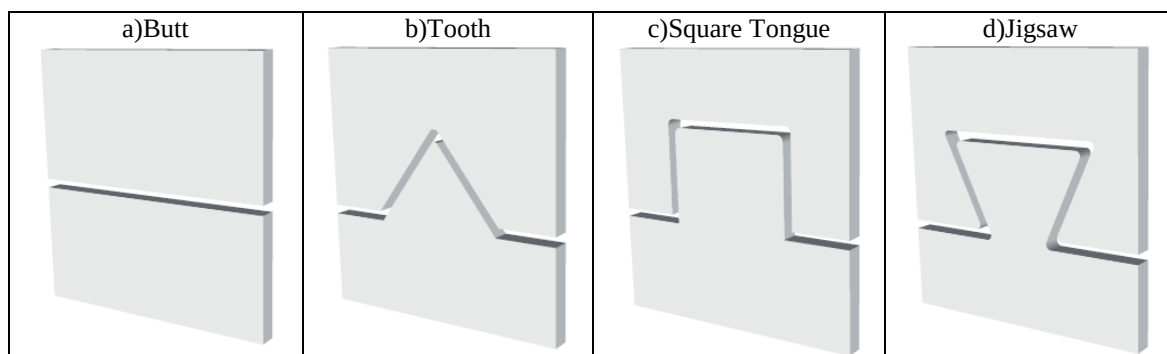


Figura 7. Métodos de união de peças que precisem ser divididas
(HP Multi Jet Fusion Handbook, adaptado, 2019)

Destas formas de união, a que possui maior garantia de precisão dimensional e área de superfície para a colagem é o *Jigsaw*. Mas esta é também a mais complicado de organizar numa peça. Por isso, há a indicação de utilizar o método *Square Tongue* que possui boa precisão dimensional, sendo igual ao do método *Jigsaw* no plano XY, e com um design rápido de executar, chegando ao representado na Fig. 8.

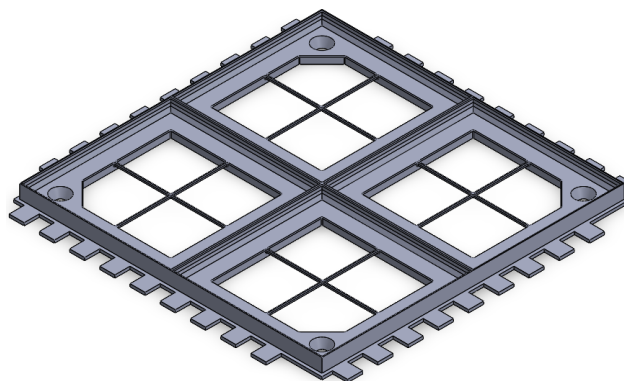


Figura 8. Terceira versão do berço.
(Própria, 2022)

3.4. Modelo final

Após a montagem das partes utilizando o software Solidworks verificou-se que as posições dos furos teriam conflito com a parte do método de união, com isso a solução encontrada foi reposicionar os furos das peças nas posições da matriz indicadas em vermelho na mostra a Fig.9.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Figura 9. Indicação das peças com mudança de furos.
(Própria, 2022)

Outro ponto verificado é que todas as peças, exceto a central, não necessitariam das partes de união envolta de toda a peça, visto que elas iram se conectar apenas com as partes adjacentes de um mesmo berço, por isso foi removido nas regiões onde não houvesse conexão com nenhuma outra parte. Verificou-se também que peças 1, 3, 7 e 9 são iguais, apenas sendo rotacionadas em 90°, o mesmo vale para as peças 2, 4, 6 e 8. Após as modificações citadas, a montagem do berço completo se deu utilizando 3 modelos de peça, um modelo para as peças nas posições 1, 3, 7 e 9 um modelo para as peças nas posições 2, 4, 6 e 8 e um modelo para a peça central.

Ao final de todas as alterações e melhorias aplicadas no berço, o novo design gerou um modelo com uma redução 29,4 % volume, como mostra a Fig. 10.

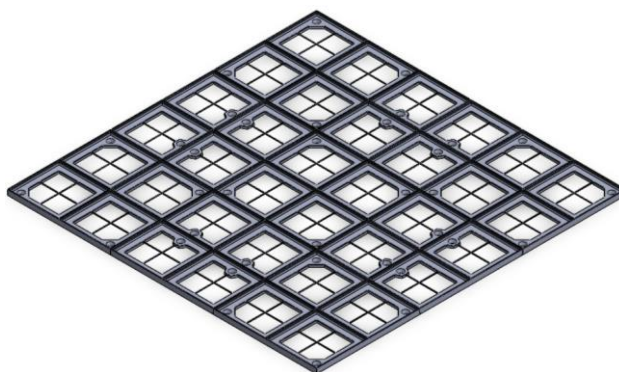


Figura 10. Montagem final do berço.
(Própria, 2022)

Como forma de verificar as mudanças feitas, foram fabricadas peças de teste para avaliar algumas das melhorias incorporadas, como a grade central e o método de união, e também para a validação das dimensões requeridas pela empresa. Se tratando de peças para teste não foi feita a impressão de todo o conjunto como mostra a Fig 11.

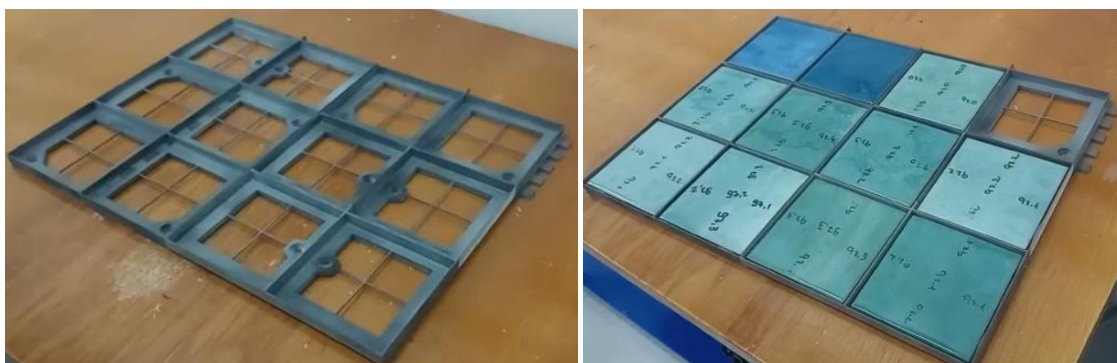


Figura 11. Peça de teste fabricada sem os azulejos (esquerda) e com azulejos (direita).
(Própria, 2022)

As peças de teste impressas apresentaram ótimos resultados, com boa precisão dimensional do método de união e da impressão em geral, onde os azulejos encaixaram corretamente no berço. Por apresentar boa usabilidade a empresa requisitou um lote de R\$ 70.000,00, que já se encontra em uso na linha de produção, como mostra a Fig. 12.



Figura 12. Berço sendo utilizado na linha de produção.
(Própria, 2022)

4. CONCLUSÃO

Com o novo método de fabricação, aliado ao novo material utilizado, as melhorias adquiridas foram: o aumento da disponibilidade do berço, visto que o uso do PA12 não sofre influência das variações de temperatura de trabalho, a precisão dimensional e flexibilidade para modificação nas dimensões requeridas. O novo design também apresentou melhorias ao processo em que a adição da grade central facilitou o posicionamento dos azulejos no berço, a redução de volume de 29,4% e massa em relação ao modelo original, precisando de menos matéria prima na fabricação e a divisão do berço 9 partes com apenas 3 modelos de peças diferentes em que, caso uma das peças venha com algum problema da impressão não seria necessário imprimir o lote inteiro novamente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a empresa HP Brasil Indústria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos Ltda e SENAI CIMATEC pela estrutura e apoio disponibilizados para o desenvolvimento do projeto. Este projeto foi custeado pela HP Brasil utilizando recursos baseados na lei #8.248 de 1982 (Lei da Informática).

6. REFERENCIAS

- Scharff, Kelly; Herrmann, Thiana Dias. *Produtividade da mão-de-obra na execução de revestimento de argamassa e revestimento cerâmico: estudo de caso*. 2020. 14 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unijuí, Rio Grande do Sul, 2020.
- Rodrigues, Vinícius Picanço; Zancul, Eduardo; Mançaneres, Cauê; Giordano, Caio; Salerno, Mario. *Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações*. Gepros. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, v. 3, n., p. 1-34, jul. 2017.
- Linkea, Rebecca. *Additive manufacturing, explained*. 2017. Disponível em: <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/additive-manufacturing-explained>. Acesso em: 17 set. 2022.
- O'Connor, Heather J.; Dickson, Andrew N.; Dowling, Denis P. *Evaluation of the mechanical performance of polymer parts fabricated using a production scale multi jet fusion printing process*. Additive Manufacturing. Dublin, p. 382-387, 2018.
- Planas, Morales S.; Canela, Minguella J.; Fuentes, Lluma J.; Rodriguez, Travieso J.A.; Granada, A García. *Multi Jet Fusion PA12 Manufacturing Parameters for Watertightness, Strength and Tolerances*. Materials 2018, 11, 1472. <https://doi.org/10.3390/ma11081472>.
- HP. *HP Multi Jet Fusion Handbook: Adhesive bondings, Design for HP MJF: Union joints design*” White Paper. <https://reinvent.hp.com/us-en-3dprint-mjfhandbook>. Janeiro, 2019.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

DESIGN OF ADDITIVE MANUFACTURED FRAME FOR A PRODUCTION LINE OF CERAMIC TILES

Rafael Cerqueira Di Paolo

Valter Estevão Beal

Bruno Caetano dos Santos Silva

Centro Universitário SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845 - Piatã, Salvador, Bahia, Brasil

rafael.dipaolo@fbter.org.br; valtereb@fieb.org.br; bruno.silva@fieb.org.br

Abstract: *Currently, companies are always looking to increase their market competitiveness through solutions that increase their productivity. In the civil sector, the execution time of a task can be used as an indicator of this factor. In a production line of ceramic tiles for wall finishing, there is an operation for organizing and gluing the tiles on a canvas that will facilitate the installation of the tiles on site, increasing productivity and reducing the total construction time. This factor often is crucial for choosing materials by the builder. This step requires setup frames that help in the orientation, spacing and positioning between the ceramic tiles. The frames were imported from Italy and had a high cost. In addition, the supplier did not want to adapt the spacing between the tiles to the requirements for the Brazilian market. A local supplier even supplied a solution molded by pouring resin, but at a high cost and low resistance and service life. In view of the above, this article shows the stages of development of a new design for the setup frame made in PA12 through the additive manufacturing process, HP Multi Jet Fusion. In the end, test frames were manufactured for validation in the production line of the requesting company. To meet the dimensions of the frame in relation to the machine's building chamber, the design was sliced into 9 parts with standardized parts and an appropriate connection joint, considering the clearances and tolerances of the additive manufacturing process and the spacing between the inserts. A central grid has been added to facilitate positioning the ceramic tiles in the frame and this increased operator productivity. The test proposal met the requirements and is in operation at the production line. Despite the cost being above the previous supplier, the availability and quality achieved provided gains for the company, showing the feasibility of additive manufacturing for the application.*

Keywords: *Additive manufacturing; PA12; Ceramic tiles; setup frame*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.