

MANUFATURA ADITIVA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO E DE REPARO PARA IMPRESSÃO 3D COM BOMBA DE CAVIDADE PROGRESSIVA.

Monteiro, M.¹, Freitas, A.², Soares, M.¹

¹Escola politécnica

Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Goiânia, Goiás, Brasil.

²Escola politécnica

Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Goiânia, Goiás, Brasil.

RESUMO: A impressão 3D é uma tecnologia amplamente utilizada atualmente, permitindo a fabricação de componentes físicos por meio da adição de material em camadas. A integração da manufatura aditiva com a indústria de construção civil pode reduzir o desperdício de materiais e os custos de mão de obra. Para a impressão 3D de argamassa, é necessário considerar a capacidade de bombeamento e as propriedades de extrusão e construção. A utilização de bombas de cavidade progressiva é comum nesse tipo de impressão, para esta a argamassa utilizada deve atender aos requisitos de fluidez e rigidez necessários para o processo, sendo assim, argamassa de revestimento e a argamassa de reparo-graute, que possuem características específicas para suas aplicações na construção civil, podem ser utilizadas para produção argamassas 3D. Utilizando-se dos ensaios de abatimento de tronco de cone, tempo de pega e ensaios de compressão, é possível concluir que há a possibilidade de empregar argamassas pré-fabricadas para a obtenção de uma argamassa 3D que atenda às necessidades de uma bomba de cavidade progressiva na impressão 3D.

Palavras-chave: Construção civil, Impressão 3D, Manufatura Aditiva

ABSTRACT: 3D printing is a widely used technology nowadays, enabling the manufacturing of physical components through layer-by-layer material addition. The integration of additive manufacturing with the construction industry can reduce material waste and labor costs. For 3D printing with mortar, it is necessary to consider the pumping capacity, extrusion properties, and construction requirements. The use of progressive cavity pumps is common in this type of printing. Therefore, plastering mortar and repair-grout mortar, which have specific characteristics for their applications in the construction industry, can be used for 3D mortars. By employing slump cone test, setting time analysis, and compression tests, it is possible to conclude that prefabricated mortars can be employed to obtain a 3D mortar that meets the requirements of a progressive cavity pump for 3D printing.

Keywords: Civil construction, 3D printing, Additive Manufacturing

1. Introdução

A impressão 3D é uma das grandes tecnologias existentes hoje no mundo, pois sua funcionalidade está presente no dia a dia das pessoas, expandindo para a indústria de automóveis, de próteses e tantas outras criações para benefício da sociedade atualmente. No começo da década de 80 surgiu o primeiro modelo de prototipagem rápida idealizado pelo Dr. Hideo Kodama, mas foi precisamente em 1988 que a primeira impressora 3D SLA foi criada, através da evolução, até chegar na manufatura aditiva que atualmente possui inúmeros modelos de impressão 3D com materiais diversos e para vários fins (KODAMA, 1981).

A Manufatura aditiva pode ser definida como um processo de fabricação por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com informações obtidas diretamente de uma representação geométrica computacional 3D do componente. Normalmente essa representação é na forma de um modelo geométrico 3D originado de sistema CAD (*Computer-aided design*) (VOLPATO, 2017).

Esse processo aditivo permite fabricar componentes físicos a partir de vários tipos de materiais, em diferentes formas e a partir de diversos princípios. O processo de construção é totalmente automatizado e ocorre de maneira relativamente rápida, se comparado aos meios tradicionais de fabricação (VOLPATO, 2017).

Em meados da década de 1980, esse tipo de tecnologia já era conhecido comercialmente, no entanto, era denominada de prototipagem rápida e não havia um ferramental específico. Devido aos novos avanços tecnológicos da eletrônica, no início dos anos 2000 essa tecnologia ganhou um novo conceito, englobando a filosofia de manufatura e todas as tecnologias pertinentes, porém, o nome somente foi redefinido em 2010, pela Sociedade Americana para Ensaio e Materiais (ASTM, sigla em inglês), por considerarem um termo mais amplo (MARQUES, 2014).

A integração da manufatura aditiva com a indústria de fabricação permite a criação de peças complexas, que antes eram difíceis ou impossíveis de serem fabricadas pelos métodos tradicionais, com a explícita economia de matéria-prima obtida por meio da inserção, apenas, na quantidade necessária para confeccionar a peça (ALCALDE, E.; WILTGEN, F, 2018).

Sustentabilidade é uma das pautas mais importantes e mais discutidas da atualidade, pois os recursos estão ficando cada vez mais escassos e a poluição está cada vez maior, seja na atmosfera, seja nos solos ou nas águas. Por tanto, precisa haver uma mudança no gerenciamento dos recursos, sejam os naturais, minerais ou hídricos, sob pena de extinção, dessa forma é necessário que a construção civil se adapte junto com as novas tecnologias.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), a construção civil é responsável por cerca de 62% do total de resíduos sólidos urbanos gerados, além disso, em estudos desenvolvidos na Escola Politécnica da USP, concluiu-se que as perdas chegam a 30%. (ABRELPE, 2004).

Diante do atual problema de resíduo que a construção civil possui, é cada vez mais necessário que haja uma revisão e planejamento na execução de obras. A manufatura aditiva é uma possibilidade de conseguir reduzir a quantidade de material utilizada, o desperdício e, além disso, a quantidade de mão de obra e consequentemente o valor das construções. A Figura 1 mostra uma casa construída através dessa tecnologia nos Estados Unidos através de um projeto que visa da moradia a pessoas em situação de rua.

Figura 1- Casa impressa 3D para pessoas em situação de rua nos EUA

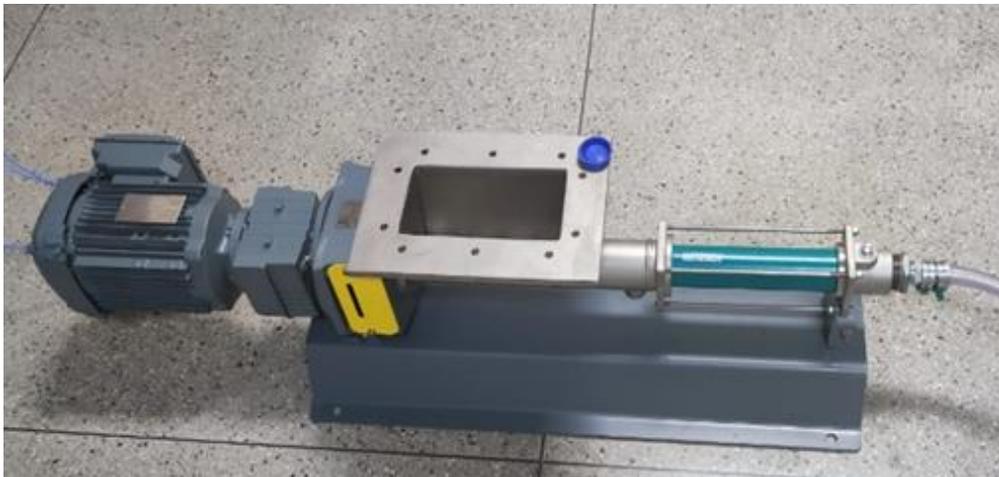


Fonte: <https://www.archdaily.com.br/br/960149/vila-de-casas-impresas-em-3d-e-construida-para-sem-tetos-nos-eua>

Uma argamassa para a impressão 3D precisa atender certos aspectos específicos devido à natureza do processo de bombeamento da impressora, considerando uma bomba

de cavidade progressiva, conforme a Figura 2, que possuem peças internas como o rotor e estator. Para que o bombeamento ocorra, deve-se ter um cuidado com essas peças que podem sofrer um desgaste exacerbado caso os agregados sejam demasiadamente pontiagudos e rugosos.

Figura 2 – Bomba de cavidade progressiva



Fonte: Própria do autor

2. Referencial teórico

2.1 Bomba de cavidade progressiva

O engenheiro francês René Moineau desenvolveu o sistema de bomba de cavidades progressivas em 1920. Esse sistema é composto por um rotor e um estator. O rotor é uma peça metálica com uma forma semelhante a um parafuso, onde o centro da hélice está deslocado do centro da seção. O estator, por sua vez, é formado por um tubo de aço revestido internamente por uma hélice dupla, podendo ser feita de aço ou elastômero. (ALMEIDA, 2010).

O rotor e o estator, Figura 3, são os principais componentes da BCP (Bomba de Cavidade Progressiva). O rotor é a parte móvel da bomba, feito de material metálico em formato espiral, revestido com uma camada de cromo para reduzir o desgaste causado pela abrasão. Ele é rosqueado na base da coluna de hastes. O estator é a parte fixa da bomba, composta por um tubo de aço revestido internamente com um material macio, geralmente um elastômero. O estator tem a forma de uma espiral fêmea com uma espira a mais em relação ao rotor (DA FONSECA ELT AL, 2016)

Figura 3 – Rotor e estator



Fonte: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/Progressive-cavity-pump-single-screw-pump-60818909855.html>

As bombas de cavidade progressiva não podem operar a seco, assim, é necessário evitar atrasos da chegada do fluido ao rotor/estator, ou escovar a bomba manualmente antes do seu uso.

A eficiência da bomba está diretamente relacionada à vedação de suas cavidades. Portanto, para obter um aumento imediato nessas características e uma vida útil prolongada, é necessário ajustar adequadamente a interferência entre o rotor e o estator de acordo com a expansão do elastômero. Esse comportamento é observado em bombas elastoméricas e apresenta características de um fenômeno conhecido como interação fluido-estrutura, em que há uma conexão significativa entre a dinâmica dos fluidos e a mecânica dos sólidos. (ALMEIDA,2010).

Além disso, os componentes das bombas de cavidade progressiva se desgastam rapidamente se o fluido bombeado conter partículas abrasivas ou sólidos em suspensão. A substituição do rotor e do estator exigem técnicos especializados e envolve um longo tempo de parada e peças de reposição de alto custo.

2.2 Argamassas para manufatura aditiva

Para que o processo de impressão 3D seja bem-sucedido, é necessário que a argamassa 3D seja conduzido até a cabeça de impressão e saia corretamente pelo bico extrusor. Dessa forma, são estabelecidos requisitos específicos em relação à sua fluidez inicial, que é o primeiro parâmetro importante nesse tipo de processo. Esse parâmetro é conhecido

como "capacidade de bombeamento" e se refere à facilidade e confiabilidade com que o argamassa 3D é movido ou bombeado através do equipamento ou sistema (LIM ET AL., 2012).

A fim de obter sucesso na impressão 3D, é crucial que o material utilizado possua propriedades altamente específicas. Isso se deve ao fato de que a argamassa 3D precisa passar por uma fase inicial de fluidez para ser bombeado do reservatório até o bico de impressão. Posteriormente, a argamassa 3D extrudado deve se tornar suficientemente rígido para sustentar seu próprio peso e o das camadas subsequentes (DE SCHUTTER ET AL., 2018).

Os parâmetros necessários para obter um bom resultado na impressão 3D de argamassa apresentam uma contradição, pois a trabalhabilidade exigida para manter um fluxo constante de material (capacidade de bombeamento) e uma boa capacidade de extrusão requerem uma ampla janela de impressão (tempo adequado de impressão). Contudo, caso o tempo de pega seja muito curto a argamassa 3D se solidificará, resultando na redução do fluxo e da velocidade de impressão, podendo causar obstrução na máquina extrusora e interromper o processo. Em contrapartida, se houver uma janela de impressão muito ampla pode levar a deformações nas camadas, comprometendo a construtibilidade. Portanto, as propriedades de extrusão e construção dependem do conhecimento das propriedades da argamassa 3D independentes da capacidade de bombeamento e da janela de impressão (LE ET AL, 2012).

Dessa forma, para que as propriedades necessárias para impressão 3D sejam mantidas as características essenciais da argamassa 3D endurecido são cruciais para suas propriedades mecânicas, como densidade, resistência à compressão, resistência à tração e resistência à flexão. Sendo assim, a densidade do material pode ser influenciada por fatores como a pressão da bomba, a velocidade de impressão e o design do caminho de impressão. De acordo com Le et al. (2012), amostras impressas corretamente exibem menor quantidade de vazios e maior densidade em comparação com amostras moldadas.

2.3 Argamassa de revestimento

A NBR 14081-1 2012: Argamassa Colante Industrializada para Assentamento de Placas Cerâmicas define 4 tipos genéricos de materiais destinados às aplicações específicas:

- AC-I-Interior, Figura 4: para a fixação de revestimentos cerâmicos em áreas internas de edificações;

- AC-II-Exterior, Figura 5: para o assentamento de placas cerâmicas em pisos e fachadas externas de edificações e, eventualmente, os casos não cobertos pela AC-I;

- AC-III-Alta Resistência, Figura 6: para fixação de revestimentos cerâmicos submetidos durante vida útil a solicitações termo higrométricas e mecânica extremas nas quais a camada adesiva ficará exposta a combinações de tensões e tração direta e cisalhamento expressivas;

-E as que possuem a letra E referem-se as que possuem tempo em aberto estendido e/ou D as que possuem deslizamento reduzido (PEREIRA, 2018)

Figura 4 – Argamassa colante AC I



Fonte: <https://www.precon.com.br/?s=argamassa#>

Figura 5 – Argamassa colante AC II



Fonte: <https://www.precon.com.br/?s=argamassa#>

Figura 6 – Argamassa colante AC III



Fonte: <https://www.precon.com.br/?s=argamassa#>

2.4 Argamassa de Reparo-Graute

O graute é um composto de ampla utilidade dentro da construção civil, sendo usado como elemento de reforço e reparo de estruturas, estabilização de solos, entre outros (Oliveira, 1986). Conforme a NBR 15961-1 2011: Alvenaria estrutural- Blocos de concreto estabelece que graute é um composto cimentício com agregados graúdos ou não, água, cal e aditivos para melhorar características como a trabalhabilidade e a retenção de água e conseqüentemente sua resistência, sobretudo à compressão.

As argamassas como a representada pela Figura 7, que são utilizadas para reparo estrutural consistem em uma combinação de um ou mais aglomerantes, como o cimento Portland e a cal, agregados inertes, como a areia, e água. Além disso, pode haver a adição de outros componentes com o objetivo de melhorar a retenção de água durante a hidratação e, conseqüentemente, aprimorar a maleabilidade da mistura. Essas argamassas industrializadas podem ser preparadas no local da construção ou podem ser adquiridas prontas de uma fábrica especializada, sendo mais práticas durante a obra (NASCIMENTO,2015).

Figura 7 – Argamassa Graute 40MPa



Fonte: <https://www.telhanorte.com.br/argamassa-fluida-graute-de-alta-resistencia-p-fixacao-e-reparos-25kg-bautech--105066/p?idsku=105066>

Um dos aspectos mais relevantes do graute é a sua consistência quando está fresco, sendo importante que o abatimento da mistura seja de 200 ± 30 mm. Para alcançar esses valores, geralmente é necessária uma relação elevada entre água e cimento (a/c), contudo

para manter sua resistência utiliza-se aditivos químicos para manter baixas as relações a/c (PRUDÊNCIO JÚNIOR ET AL, 2002).

Sendo assim, as argamassas de reparo estrutural possuem uma resistência mínima pré-determinada sendo assim possível que haja uma melhor probabilidade de melhor desempenho quanto à resistência à compressão ao comparar com argamassas de revestimentos.

3. Materiais e Métodos

3.1 Determinação da granulometria do material

Os materiais utilizados e as características granulométricas que melhor atenderam aos objetivos do projeto de manufatura aditiva foram determinados. Foram determinados os tipos de argamassas utilizadas, a granulometria dos agregados e o tipo de aditivo para alcançar uma determinada característica ideal. Observando o funcionamento prévio e as falhas anteriores, foi aferido um tamanho máximo para os agregados como ponto de partida para os ensaios e a elaboração de traços para cada material e agregado utilizados. Além disso, foi realizada a determinação do limite dos tamanhos e formatos dos agregados consultando o manual de operações da máquina e orientando o responsável/operador da bomba para evitar danos ao equipamento durante os experimentos. Foram utilizados os seguintes materiais:

- Peneiras para determinar o limite granulométrico dos agregados,
- Balança para pesagem precisa e obtenção de traço realista,
- Argamassadeira,
- Cronômetro
- Recipientes e vidrarias necessários para pesagem e coleta de amostras.

Após o estudo para a melhor escolha dos agregados e determinação do traço a ser utilizado, a dosagem dos materiais foi feita utilizando a balança de precisão, conforme preconiza a norma NBR 7215-2019 - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndrico³, que possui as diretrizes técnicas para a determinação da resistência à compressão das argamassas.

Para a preparação da argamassa, foram utilizadas as normas NBR 13281 2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos e NBR 7211 2019: Agregados para concreto - Especificação.

3.2 Determinação da resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão foi realizada através dos corpos de prova feitos com o traço estabelecido. Esses corpos de prova foram testados nos períodos de 7 e 21 dias, seguindo a NBR 7215, e foi possível determinar a carga máxima de compressão suportada pelo corpo de prova das argamassas estudadas.

Foram feitos 2 traços para argamassas colantes do tipo AC I, um utilizando de areia natural com #12 mm de espessura e o outro com areia artificial com #12 mm de espessura; e para AC III foi feito um corpo de prova utilizando de areia artificial #12 mm de espessura para o rompimento em 7 dias e em 21 dias.

Para argamassa de reparo foi feito um traço com três corpos de prova utilizando exclusivamente de areia natural de #12 mm de espessura para um rompimento em 7 dias.

3.3 Teste do abatimento do tronco de cone do concreto

Para determinar o abatimento do tronco de cone do concreto, *Slump*, que consiste em medir a consistência e fluidez do concreto e argamassa em seu estado fresco, foram utilizados os seguintes materiais:

- Molde;
- Haste de compactação;
- Placa de base;
- Régua.

Segundo a norma ABNT NBR NM 67 1998: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, para a determinação do *slump*, os moldes e as placas de base foram umedecidos. O molde foi preenchido em três camadas, compactando cada camada com 25 golpes da haste. Após a retirada do molde, o abatimento do material foi

medido imediatamente, em milímetros, arredondando para o valor mais próximo múltiplo de 5 mm.

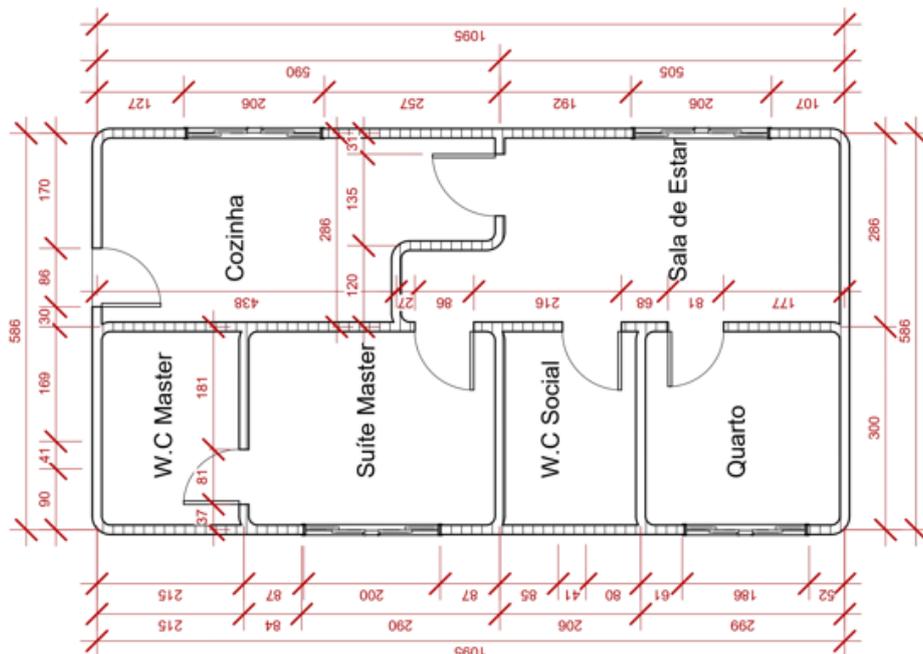
3.4 Determinação do tempo de pega

Para determinar o tempo de pega de uma argamassa, utilizou-se os parâmetros e materiais descritos na NBR NM 65 2002: Cimento portland - Determinação do tempo de pega. O teste foi realizado utilizando o aparelho de Vicat. Primeiramente, obteve-se o tempo inicial de pega, que é o intervalo de tempo desde a adição de água até a penetração do material a uma distância de (4 ± 1) mm da placa base. Adicionalmente, determinou-se o tempo de fim de pega, que é o período transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat penetra 0,5 mm na pasta.

3.5 Projeto de casa popular

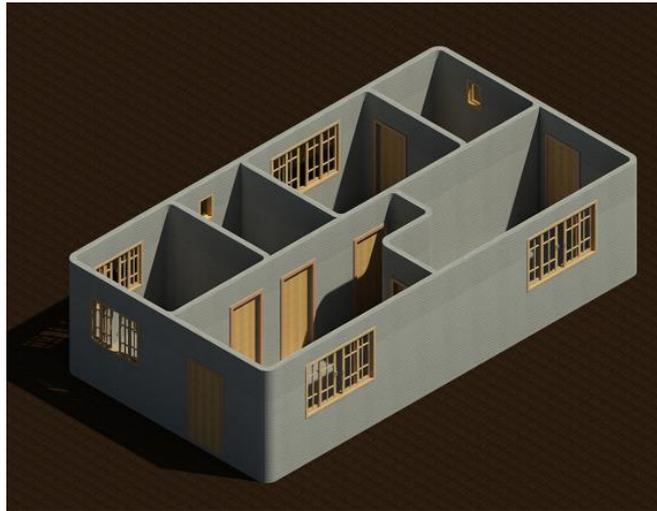
Através do *software Revit* foi feito um projeto básico para uma casa popular de 66,47m², Figuras 8 e 9, contendo um quarto e uma suíte, sala, cozinha e área de serviço, que atendam uma família média de forma confortável.

Figura 8 –Projeto casa popular



Fonte: Própria do autor

Figura 9 –Projeto casa popular



Fonte: Própria do autor

4. Resultados e Discussão

A determinação granulométrica foi conduzida levando em consideração, principalmente, as restrições estabelecidas pelo fabricante da bomba de cavidade progressiva. Com base nessas limitações, foi desaconselhado o uso de materiais com diâmetro superior a 1,6 mm. Portanto, foi adotado uma peneira de 1,2 mm como medida para restringir o tamanho dos agregados e assegurar o bom funcionamento da bomba. As areias utilizadas foram a natural de fundo de rio mostrada na Figura 10 e a artificial pedrisco apresentada na Figura 11. Dessa forma, a determinação granulométrica foi feita baseada nas considerações específicas da bomba de cavidade progressiva, contribuindo para assegurar a compatibilidade e o desempenho ideal durante a aplicação da argamassa ou concreto.

Figura 10 –Areia natural #1,2mm



Fonte: Própria do autor

Figura 11 –Areia artificial #1,2mm



Fonte: Própria do autor

Os testes de resistência à compressão obtiveram os seguintes resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2:

Tabela 1 –Resultados Argamassa de revestimento

Tipo de argamassa	Argamassa ACI- areia natural	Argamassa ACI- areia artificial	Argamassa ACIII- areia natural	un.
Quantidade de argamassa	500	500	500	g
Quantidade de água	154,91	138,6	120,35	g
tipo de areia	areia natural	areia artificial	areia artificial	-
Quantidade de areia	250	250	250	g
Granulometria	#1,2	#1,2	#1,2	mm
Resistencia à compressão (7 dias)	2,7	3,1	3,2	Mpa
Resistencia à compressão (21dias)	4,4	4,4	3,7	Mpa

Fonte: Própria do autor

Tabela 2 –Resultados Argamassa de reparo-Graute

	Corpo de prova 1	Corpo de prova 2	Corpo de prova 3	un.
Tipo de argamassa	Argamassa Graute 40MPa			-
Quantidade de argamassa	750	750	750	g
Quantidade de água	260	260	260	g
tipo de areia	areia natural	areia natural	areia natural	-
Quantidade de areia	375	375	375	g
Granulometria	#1,2	#1,2	#1,2	mm
Resistencia à compressão (7 dias)	8,5	8,8	8,3	Mpa

Fonte: Própria do autor

Segundo a NBR 6136 que trata de blocos de concreto para alvenaria estrutural, os blocos de classe A devem possuir uma resistência mínima de 2,5 MPa, para a classe B é

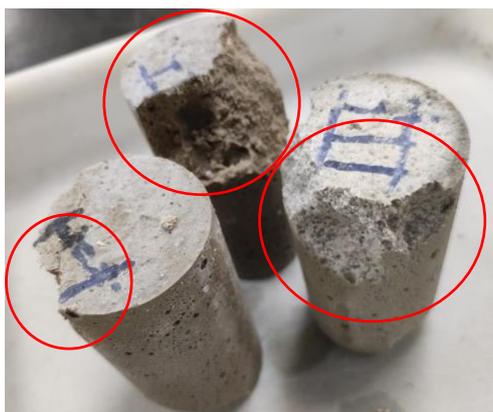
de 3,5 MPa e para a classe C é de 4,0 MPa, valores de referência para considerar as argamassas projetadas como o único elemento autoportante da edificação.

No entanto, as argamassas produzidas com argamassa de revestimento apresentaram resistências em torno de 3,7 a 4,4 MPa, equivalendo, respectivamente, aos blocos de classe B e C, no entanto, esses resultados não atingiram a resistência esperada, que deveria exceder quantitativamente a resistência dos blocos estruturais.

Observando a Figura 9 e 10, pode-se notar que houve uma ruptura anormal, indicando a possibilidade de problemas durante o processo de mistura ou até mesmo na moldagem dos corpos de prova. Diante desses resultados insatisfatórios, buscou-se melhorar a composição do traço utilizado e um maior cuidado durante a preparação dos corpos de prova.

Dessa forma, ao utilizar um traço com uma argamassa de assentamento estrutural, os resultados de resistência obtidos foram superiores em relação ao traço anterior com argamassa de revestimento. A resistência variou de 8,3 MPa a 8,8MPa, resultando em um aumento que ultrapassou 200% na resistência da argamassa em comparação ao traço inicial. Com essa melhoria, a capacidade da argamassa foi estendida, permitindo que ela atendesse aos requisitos de resistência esperados de forma mais satisfatória. Além disso, de acordo com NBR 5739-2018: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, pode-se observar na Figura 11 que o rompimento foi uma ruptura tipo E-cisalhada, o que é um bom indicativo. Enquanto nas Figuras 9 e 10 a ruptura foi do tipo F caracterizadas como fraturas de topo que podem não ser um bom indicativo de qualidade ainda mais empregadas para impressão 3D.

Figura 9 –Corpos de prova rompidos- Argamassa de revestimento com ruptura anormal



Fonte: Própria do autor

Figura 10 – Corpos de prova rompidos- Argamassa de revestimento com ruptura anormal



Fonte: Própria do autor

Figura 11 – Corpo de prova rompido- Argamassa de reparo-Graute com ruptura normal



Fonte: Própria do autor

No teste de Slump, observou-se que argamassas produzidas apresentam uma fluidez de boa a excelente. Isso é evidenciado pelo abatimento de apenas 1,45 cm de altura, Figura 12, mantendo uma borda de 21 cm.

Figura 12 –Teste de Slump



Fonte: Própria do autor

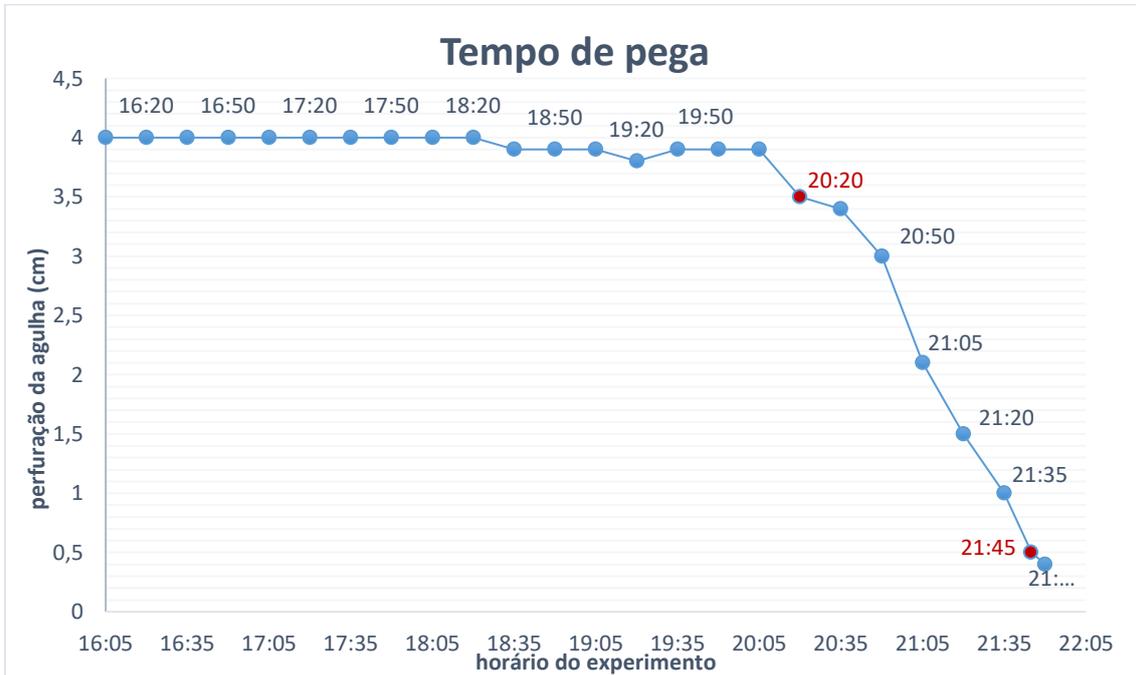
Essa redução mínima de altura indica que as argamassas possuem uma consistência controlada e uma capacidade de manter sua forma e coesão. Essa habilidade demonstrada nas propriedades de fluidez e consistência é de extrema importância para que quando impresso a argamassa mantenha seu formato e a deformidade não atrapalhe o processo de impressão.

Dessa forma é possível afirmar que o processo de produção das argamassas foi eficiente quanto a fluidez, garantindo uma mistura bem balanceada de seus componentes.

Esses resultados indicam que as propriedades reológicas das argamassas foram equilibradas e ajustadas durante o processo de formulação. A fluidez adequada permite que a argamassa seja facilmente moldada e aplicada, garantindo um manuseio eficiente e uma distribuição uniforme para que haja uma redução nos problemas que poderia causar na bomba de cavidade progressiva. Além disso, a consistência controlada contribui para a estabilidade e durabilidade das estruturas construídas com essas argamassas.

O tempo de pega determinado no aparelho de Vicat, gráfico 1 e Figura 13, foi inicialmente de 215 minutos e o tempo de pega final de 340 minutos.

Gráfico 1-Tempo de pega- Argamassa Graute 40 MPa



Fonte: Própria do autor

Figura 13 –Teste de determinação de tempo de pega-Agulha de Vicat



Fonte: Própria do autor

Dessa forma, é possível observar que a argamassa produzida com graute apresenta um tempo de pega satisfatório, tanto inicial quanto final. Isso significa que, ao utilizar a

bomba de cavidade progressiva, as argamassas não irão endurecer dentro do equipamento, evitando danos ao estator e ao rotor. Além disso, a diferença entre o tempo de pega inicial e final foi relativamente pequena, de 85 minutos. Isso proporciona uma janela de tempo adequada para a impressão antes do endurecimento da argamassa e, ao mesmo tempo, garante que as camadas já impressas estejam prontas para receber a próxima.

Portanto, a argamassa não ficará excessivamente mole ao receber outra camada, como demonstrado no teste de slump, nem irá endurecer rapidamente, o que garante uma impressão consistente e de qualidade de acordo com os parâmetros e testes estudados.

Esses resultados indicam que as propriedades de pega das argamassas foram ajustadas de forma adequada, considerando as exigências do processo de impressão. Essa característica é fundamental para garantir um fluxo controlado e estável durante a aplicação da argamassa, evitando problemas relacionados à aderência e à estabilidade das camadas.

Durante os experimentos, não foi possível a utilização da bomba de cavidade progressiva, devido a sua sensibilidade e a problemas técnicos anteriores, devido a esses fatores não foi utilizada para a realização de testes e obtenção de resultados pós-impressão, deixando como sugestão para trabalhos futuros a utilização dos traços já estabelecidos.

5 CONCLUSÕES Conclusão

Portanto, pode-se concluir que a manufatura aditiva tem o potencial de substituir os métodos tradicionais de produção da construção civil, embora ainda existam desafios e a necessidade contínua de descobertas e pesquisas para ampliar sua aplicação. Durante os experimentos, mesmo sem utilizar a bomba de cavidade progressiva devido às limitações da impressora como um todo, observou-se o potencial de utilização das argamassas. Isso se deve, principalmente, à facilidade de acesso aos materiais utilizados e às características promissoras evidenciadas nos resultados obtidos.

É importante ressaltar que são necessários estudos mais aprofundados em relação à bomba utilizada, uma vez que ela apresenta diversos problemas e dificuldades durante o processo de impressão. Talvez seja necessário considerar a substituição por uma bomba

mais potente ou específica como a utilizada para reboco projetado, a fim de superar alguns obstáculos.

Ainda assim, é evidente que a manufatura aditiva tem o potencial de trazer inovação e eficiência para a construção civil. É preciso pesquisas contínuas e o desenvolvimento nessa área para aprimorar os processos e expandir as possibilidades de aplicação dessa tecnologia. Com o tempo, espera-se que a manufatura aditiva se torne uma solução cada vez mais viável e amplamente adotada no setor da construção.

5. Referências Bibliográficas

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2003**. São Paulo: ABRELPE, 2004.

ALCALDE, E.; WILTGEM, F., Estudo das tecnologias em prototipagem rápida: passado, presente e futuro, Revista de Ciências exatas da universidade de Taubaté, Taubaté, v. 24, n. 2, p. 12-20, 2018.

ALMEIDA, Rairam Francelino Cunha de. **Simulação computacional da interação fluido-estrutura em bombas de cavidades progressivas**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15161-1: Alvenaria estrutural-Blocos de concreto, Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro 2011.

_____. **NBR 7215-2019 - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndrico**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____. **NBR 13281: Critérios para o sistema de proteção contra incêndios em subestações elétricas**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____. **ABNT NBR NM 65. Cimento Portland - Determinação do tempo de pega**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **ABNT NBR NM 67-Concreto-Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____. **ABNT NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

DA FONSECA, Líbel Pereira et al. GEOMETRIA DA BOMBA DE CAVIDADES PROGRESSIVAS. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 3, n. 2, p. 151-162, 2016.

- KODAMA, Hideo. Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer. **Review of scientific instruments**, v. 52, n. 11, p. 1770-1773, 1981.
- LE, Thanh T. et al. Hardened properties of high-performance printing concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 42, n. 3, p. 558-566, 2012.
- LE, Thanh T. et al. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. **Materials and structures**, v. 45, p. 1221-1232, 2012.
- LIM, Sungwoo et al. Developments in construction-scale additive manufacturing processes. *Automation in construction*, v. 21, p. 262-268, 2012.
- MARQUES, K. **Manufatura aditiva: o futuro do mercado industrial de fabricação e inovação**. EESC- Escola de Engenharia de São Carlos, USP-Universidade de São Paulo, 2014.
- NASCIMENTO, Marcio Rogério do et al. O uso de argamassa de assentamento como preenchimento de alvenaria estrutural cerâmica. 2015.
- OLIVEIRA, Luiz Antonio Pereira de; TEZUKA, Yasuko. Estudo do desempenho dos grautes com adições para enchimento de blocos de alvenaria estrutural. 1986.
- PRUDÊNCIO JR, Luiza Roberto; OLIVEIRA, AL de; BEDIN, Carlos Augusto. Alvenaria estrutural de blocos de concreto. **Florianópolis: Associação Brasileira de Cimento Portland**, 2002.
- VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. Editora Blucher, 2017.