XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA ENTRE CAMADAS DE ARGAMASSAS IMPRESSAS EM 3D

Evaluation of the adhesion between layers of 3d-printed mortars

WILLER MOTA FERREIRA[1], HELENA CARASEK[2], PATRICIA APARECIDA LIMA BORGES[3]
[1] Doutorando (PPGGECON), Universidade Federal de Goiás/UFG, willer.ferreira@discente.ufg.br
[2] Profa. Dra., Universidade Federal de Goiás/UFG, hcarasek@ufg.br
[3] Estudante de graduação (Eng. Civil), Universidade Federal de Goiás/UFG, patricia.borges@discente.ufg.br

RESUMO
Este estudo analisou a aderência entre camadas de argamassa impressas em 3D, avaliando tempos de deposição (15 minutos, 20 minutos e 24 horas) e a aplicação de água e solução de hidróxido de cálcio entre camadas. Ensaios de resistência à tração e análise estereoscópica mostraram que corpos de prova sem tratamento entre camadas apresentaram maior resistência e menor variabilidade, enquanto a água reduziu a aderência. A solução de hidróxido de cálcio teve desempenho variável, com melhores resultados em tempos intermediários. Conclui-se que controlar o tempo de deposição e as condições aplicadas é essencial para otimizar a ligação intercamadas.

Palavras-chave: Manufatura aditiva. Argamassa. Aderência. Extensão de aderência. Ensaios mecânicos.

ABSTRACT
This study analyzed the adhesion between layers of 3D printed mortar, evaluating deposition times (15 minutes, 20 minutes and 24 hours) and applying water and calcium hydroxide solution between the layers. Tensile strength tests and stereoscopic analysis showed that specimens without treatment between layers had higher resistance and less variability, while water reduced adhesion. The calcium hydroxide solution showed variable performance, with better results at intermediate times. It is concluded that controlling the deposition time and applied conditions is essential to optimize the interlayer bond.

Key-words: Additive manufacturing; Mortar; Bond; Adhesion extension; Mechanical tests.

Como citar:
FERREIRA, W. M.; CARASEK, H.; BORGES, P. A. L. Avaliação da aderência entre camadas de argamassas impressas em 3d. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva, conhecida como impressão 3D, destaca-se como uma das principais inovações da Indústria 4.0, com aplicações em diversos setores. Na construção civil, a tecnologia frequentemente chamada de Impressão 3D de Concreto (3DPC) tem ganhado relevância nos últimos anos, transformando métodos convencionais de construção. Embora o termo "concreto" seja amplamente utilizado, muitos dos materiais empregados na 3DPC são, na verdade, argamassas — materiais cimentícios compostos por uma mistura homogênea de aglomerantes, agregado miúdo e água, sem o uso de agregados graúdos, como pedras britadas, que caracterizam o concreto tradicional [1]. Ainda assim, o termo "concreto" permanece predominante no contexto internacional devido à popularidade e à associação com o setor da construção. Ao dispensar a necessidade de fôrmas, a 3DPC possibilita a criação de formas arquitetônicas livres, reduzindo custos associados a geometrias complexas e ampliando as possibilidades de design. Esse avanço promove eficiência e produtividade, alinhando-se às demandas contemporâneas por soluções rápidas e sustentáveis [2][3][4].

Apesar de suas vantagens, a 3DPC enfrenta desafios técnicos, principalmente no que diz respeito à aderência entre camadas. O processo de impressão, baseado na extrusão de materiais cimentícios em camadas sucessivas, gera interfaces que podem comprometer a integridade estrutural e a durabilidade das peças [5]. Fatores como o tempo entre deposição das camadas, a distância do bico extrusor, a velocidade de impressão e as propriedades do material afetam significativamente a qualidade dessas interfaces. Além disso, interrupções no processo de impressão, seja por falhas técnicas ou humanas, podem agravar a formação de zonas de interface fracas, resultando em desempenho mecânico inferior [6][7][8].

Estudos recentes abordam estratégias para mitigar esses problemas. Algumas pesquisas exploraram a influência de parâmetros de impressão, como umidade e rugosidade superficial, além de técnicas para aprimorar a ligação intercamadas, como a inserção de reforços metálicos, aplicação de agentes de ligação e variações nos métodos de cura [9][10][11]. Essas investigações mostram avanços promissores, mas ressaltam a necessidade de estudos mais aprofundados que forneçam diretrizes práticas para melhorar o desempenho das estruturas impressas [12].

Nesse contexto, compreender os fatores que afetam a aderência entre camadas é essencial para o avanço da tecnologia 3DPC. Este estudo tem como objetivo analisar a aderência entre camadas de materiais cimentícios impressos em 3D, considerando diferentes intervalos de tempo de deposição e avaliando o impacto da aplicação de substâncias entre as camadas na qualidade da ligação entre elas.

PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAL E MÉTODOS

O cimento utilizado na pesquisa foi do tipo CPV-ARI, em conformidade com a NBR 16697 [13]. Complementarmente, empregou-se sílica ativa como adição mineral, areia natural, nanosílica, aditivo superplastificante à base de policarboxilato (SP) (4% da massa de cimento), modificador de viscosidade (MoV) (0,4% da massa de cimento) e água. Para o

desenvolvimento dos corpos de prova (CP) destinados aos ensaios, foi adotado um traço padrão, onde as proporções utilizadas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1- Proporção de material para produção das argamassas.

CIMENTO (g)	SÍLICA ATIVA (g)	AREIA (g)	NANOSÍLICA (g)	SP (g)	MoV (g)	ÁGUA (g)
571,43	537,14	2857,14	104,34	22,86	2,29	735,66

Fonte: Os autores (2025).

As argamassas foram preparadas em uma argamassadeira planetária de bancada com capacidade de 20 litros, sendo misturadas por 15 minutos. Durante o processo, a água foi adicionada de forma gradual. Após os primeiros 10 minutos de mistura, foram incorporados o superplastificante e o modificador de viscosidade. A capacidade de extrusão foi avaliada com o uso de uma pistola de calafetagem manual (Figura 1), seguindo a metodologia descrita por Khalil [14]

Para chegar as condições desejadas de construção, foram impressos corpos de prova que reproduziam a geometria e as características finais do material. Durante a impressão manual, a velocidade de extrusão foi mantida em 60 mm/s, enquanto a distância entre o bico extrusor e a base foi mantida em aproximadamente em 1 mm, sendo controlada manualmente. O controle da velocidade foi feito por meio de cronometragem, levando em conta a extensão total do corpo de prova e o tempo necessário para a extrusão. Cada deposição foi claramente marcada para facilitar as análises subsequentes.

Após a aplicação da segunda camada, um peso padrão (prisma de argamassa com 30 cm de comprimento e carga linear de 15 g/cm) foi posicionado sobre os corpos de prova recém-impressos ao longo de toda a sua extensão. Para evitar a aderência entre o corpo de prova e o peso, foi aplicado um filme plástico sobre toda a superfície. Esse peso teve a função de simular a sobrecarga de uma possível terceira etapa de impressão, exercendo pressão sobre a camada inferior para promover a adesão e compactação do material.

O tempo de deposição entre camadas foi o principal parâmetro variável, sendo testados intervalos de 5 minutos, 20 minutos e 24 horas entre a primeira e a segunda aplicação. Para cada intervalo de deposição, uma nova argamassa foi preparada com o mesmo traço, garantindo que as características do material fossem preservadas ao longo dos ensaios.

Além disso, foi avaliada a influência de fatores como a aplicação de água e da solução de hidróxido de cálcio entre as camadas. A solução de hidróxido de cálcio foi preparada dissolvendo 30 g de cal em 500 mL de água. A solução foi então aspergida uniformemente entre as camadas com o auxílio de um borrifador, imediatamente antes da aplicação da segunda camada. O borrifamento teve como objetivo garantir uma distribuição homogênea da solução, favorecendo uma interação eficaz entre as camadas.

A proposta de uso da solução de hidróxido de cálcio vem de pesquisas com argamassas de revestimento e de alvenaria [15][16][17][18], em que com a aplicação da solução obteve-se significativo aumento da resistência de aderência entre os materiais.

Figura 1- Pistola de calafetagem manual.



Fonte: Os autores (2025).

Foram realizados ensaios para avaliar, de forma qualitativa e quantitativa, as propriedades do material no estado endurecido, incluindo o ensaio de resistência à tração direta (realizado na Prensa Hidráulica EMIC com capacidade de célula de carga de 500 kgf) com rompimento aos 28 dias e o nível da extensão de aderência entre camadas por meio de uma lupa estereoscópica Leica com uma capacidade máxima de ampliação de 120 vezes (Figura 2a), porém a ampliação adotada para este estudo foi padronizada em 6 vezes. O ensaio de resistência à tração foi realizado em um total de 45 corpos de prova (5 CPs por situação), com dimensão de 5 cm x 3 cm (Figura 2b), conduzido com base na norma ABNT NBR 13528 [15][19] e em estudos correlatos [9][20][21][22][23].

Figura 2- Procedimentos Laboratoriais: a) Lupa estereoscópica; b) Modelo do corpo de prova adotado para o estudo.



(a) (b)

Fonte: Os autores (2025).

Durante os ensaios, os corpos de prova foram posicionados na prensa hidráulica de maneira que as garras segurassem as extremidades sem exercer força diretamente sobre as camadas. A força foi aplicada de forma gradual a uma taxa de deslocamento de 2mm/s até a ruptura,

registrando-se os valores da força aplicada. Por fim, foram analisados a resistência à tração intercamadas e o modo de ruptura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta um resumo dos resultados obtidos por meio do ensaio de resistência à tração, com a média dos valores de tensão máxima de aderência, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Tabela 2- Resistência de aderência por tração direta das situações analisadas

Código	Tempo entre camadas	Condição aplicada entre camadas	Média (MPa)	Desvio. Padrão (MPa)	C.V. (%)
R5M	5 min.	Referência	0,97	0,24	24
A5M	5 min.	Água	0,60	0,21	35
C5M	5 min.	Sol. hidróxido de cálcio	0,19	0,09	49
R20M	20 min.	Referência	1,20	0,23	20
A20M	20 min.	Água	0,52	0,17	33
C20M	20 min.	Sol. hidróxido de cálcio	1,04	0,23	22
R24H	24 horas	Referência	0,84	0,33	39
A24H	24 horas	Água	0,24	0,11	45
C24H	24 horas	Sol. hidróxido de cálcio	0,30	0,13	44

Fonte: Os autores (2025).

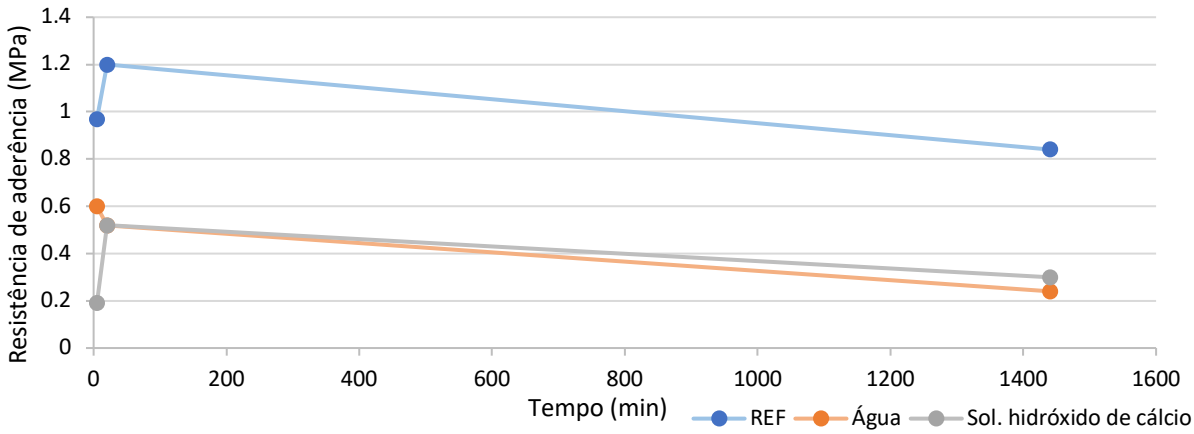
Os resultados obtidos com os dois tratamentos sugerem que a resistência do material é altamente influenciada pelas condições às quais ele é exposto. Os tratamentos propostos, ao contrário do desejado, não contribuíram para a melhoria da aderência entre as camadas. A aplicação de água entre as camadas levou sempre à redução da resistência da aderência e ao aumentando da variabilidade dos resultados. Esse efeito pode estar relacionado a um aumento localizado da relação água/cimento da argamassa de interface, prejudicando a resistência mecânica do material.

Já a aplicação da solução de cal, por sua vez, teve um comportamento variado, em alguns casos positivo e outros negativo. Nota-se uma estabilização da resistência quando aplicada com o tempo entre camadas de 20 minutos, indo ao encontro de resultados favoráveis encontrados por outros autores em sistemas diversos [16][17][18]. Com o intervalo de 24 horas entre camadas, esse tratamento não foi satisfatório. Uma hipótese desses resultados pode ser a precipitação de partículas de hidróxido de cálcio sobre a camada inferior de argamassa gerando um material pulverulento que, ao invés de aumentar a aderência, prejudicou a ligação entre as camadas. Resultado similar, ou seja, negativo, foi relatado por Angelim [18] e por Miranda e Oliveira [17], em que os autores misturaram o corpo da solução com o material decantado no fundo do recipiente. Quando a solução foi aplicada dessa forma, houve a deposição de partículas sobre a base, o que foi constatado visualmente pela coloração levemente esbranquiçada da base após a secagem. Esses resultados obtidos com os tratamentos alternativos mostram a necessidade de realização de mais pesquisas.

O Gráfico 1 mostra a relação entre a resistência de aderência (MPa) e o tempo de deposição (minutos), evidenciando uma tendência geral de redução da aderência entre camadas ao

longo do tempo para todos os tratamentos analisados. Os corpos de prova sem tratamento (REF) apresentam a maior resistência inicial, seguida por uma diminuição gradual. O tratamento com solução de hidróxido de cálcio exibe a menor resistência desde o início, com pouca variação ao longo do tempo. Já o tratamento com água apresenta uma resistência inicial intermediária, mas também sofre uma redução progressiva, aproximando-se dos valores observados para a solução de hidróxido de cálcio.

Gráfico 1- Variação da resistência de aderência ao longo do tempo.



Fonte: Os autores (2025).

A análise da resistência de ligação entre camadas revelou que a aplicação de água ou de uma solução de hidróxido de cálcio entre camadas, especialmente com um curto período de tempo de deposição (5 minutos), compromete a relação água/cimento (a/c) na interface, prejudicando a adesão. O excesso de umidade aumenta a porosidade da interface, reduzindo a coesão entre as camadas e dificultando a formação dos produtos de hidratação do cimento necessários para uma ligação eficaz [12][24]. O estudo de Sanjayan [6] também enfatiza que a umidade presente entre as camadas desempenha um papel fundamental na qualidade da ligação intercamadas.

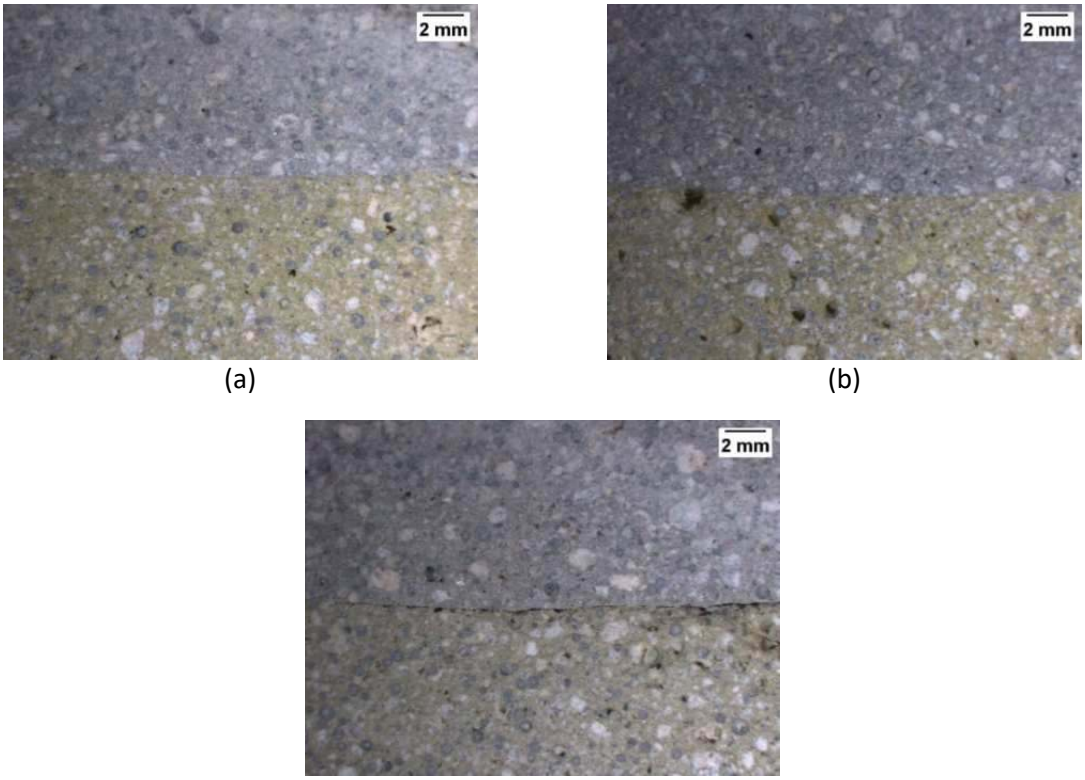
A influência do tempo de deposição foi evidente. Comparando os corpos de prova R5M e R20M, houve um aumento de 23,7% na resistência, comportamento contrário ao observado por Panda [20], que relatou perdas de até 74% após 20 minutos, devido à desidratação da camada base. Essas diferenças podem ser atribuídas à composição dos materiais, à retenção de umidade e ao método de deposição adotado. Intervalos curtos favorecem a adesão, pois reduzem a formação de macroporos na interface. Entretanto, umidade excessiva na superfície inferior pode comprometer a aderência pelo aumento da relação água/cimento. Já intervalos longos resultam em uma queda progressiva da resistência, pois promovem maior evaporação da água, aumentando a porosidade e prejudicando a coesão entre as camadas [12][21][23].

A alta variação dos resultados é esperada e compatível com a propriedade aderência, uma vez que os materiais e o sistema em estudo apresentam comportamento essencialmente frágil, levando a uma maior dispersão dos resultados de ruptura [25]. Nestes casos, segundo Callister e Rethwisch [26], a resistência à fratura é extremamente dependente da probabilidade da existência de um defeito que possa dar início a uma fissura. Além disso, alguma variabilidade

do próprio método de ensaio também deve ser contabilizada. Huang *et al*. [27] também obtiveram dispersões relativamente altas nos seus testes de aderência entre camadas de argamassas obtidas por impressão 3D.

A Figura 3 mostra a interface dos corpos de prova impressos nos diferentes tempos de deposição estudados, com foco nos CPs tratados com solução de hidróxido de cálcio, pois essas apresentaram a menor resistência à tração média entre os padrões avaliados. Esse resultado pode estar associado à interferência na aderência intercamadas, ao aumento da porosidade ou à formação de camadas menos densas na interface, comprometendo a resistência mecânica. Além disso, a solução pode ter reagido quimicamente com o material base ou deixado umidade residual, prejudicando a adesão entre as camadas. Visualmente, os CPs do grupo C24H (Figura 3c) exibe uma interface mais pronunciada, o que está de acordo com os valores de resistência à tração apresentados na Tabela 2.

Figura 3 - Ampliação de 6x da interface entre os CPs impressos, com a aplicação da solução de hidróxido de cálcio entre as camadas, nos seguintes intervalos de tempo: (a) 5 minutos; (b) 20 minutos; (c) 24 horas.



(a) (b)

(c)

Fonte: Os autores (2025).

Os resultados da extensão de aderência, avaliados por meio da lupa estereoscópica, são apresentados na Tabela 3. A análise foi realizada em todos os 45 corpos de prova, seguindo o critério adotado por Carasek [28].

Tabela 3- Níveis de extensão de aderência

Código	Condição aplicada entre camadas	Níveis de extensão de aderência*				
		Corpo de Prova				
		1	2	3	4	5
R5M	Referência	10	10	10	10	10
A5M	Água	10	10	10	10	10
C5M	Cal	10	10	10	10	10
R20M	Referência	10	10	10	10	10
A20M	Água	10	10	10	10	10
C20M	Cal	10	10	10	10	10
R24H	Referência	10	10	10	10	10
A24H	Água	10	10	10	10	10
C24H	Cal	10	10	10	9	10

* Níveis de extensão de aderência: 1= 0 a 10%; 2= 11 a 20%; 3= 21 a 30%; 4= 31 a 40%; 5= 41 a 50%; 6= 51 a 60%; 7= 61 a 70%; 8= 71 a 80%; 9= 81 a 90%; 10= 91 a 100%

Fonte: Os autores (2025).

De forma geral, os corpos de prova analisados apresentaram boa aderência ao longo de sua extensão, conforme observado pela lupa estereoscópica. A aderência foi consistente em todos os CPs, especialmente nas condições de referência, onde os materiais mostraram uma ligação sólida entre as camadas. Entretanto, ao avaliar a resistência intercamadas, notou-se uma variação mais significativa, principalmente nos CPs tratados com água e solução de hidróxido de cálcio. Essas variações podem estar relacionadas a fatores como o tempo de cura, a quantidade de água ou cal aplicada, ou até mesmo à interação desses componentes com os materiais.

Embora o CP C24H tenha apresentado uma taxa de aderência de 92,15%, esse valor não reflete um bom desempenho no ensaio de resistência à tração, já que obteve uma das menores resistências médias e um dos maiores coeficientes de variação. Isso indica que, apesar da taxa de aderência ser relativamente alta, a qualidade da ligação entre as camadas foi comprometida, resultando em uma resistência inferior e maior variabilidade nos resultados. Assim, a análise de aderência, apesar de mostrar valores aceitáveis, não foi suficiente para garantir uma ligação robusta entre as camadas, sugerindo a necessidade de ajustes nas condições experimentais.

Ainda que os níveis de extensão de aderência tenham apresentado valores positivos, a identificação dos modos de falha foi realizada por meio de análise visual logo após a execução do ensaio de tração, o que permitiu uma avaliação mais detalhada do comportamento dos CPs. De forma geral, os corpos de prova exibiram falha adesiva (Figura 4a), caracterizada pela separação das camadas na interface, resultando em superfícies lisas e limpas. Esse comportamento indica que, apesar dos bons níveis de aderência, a ligação entre os materiais não foi suficientemente forte, levando a uma ruptura predominante na interface.

Figura 4- Modo de ruptura: a) Corpo de prova R5M (Ruptura adesiva) ; b) Corpo de prova C20M (Ruptura mista)



(a) (b)

Fonte: Os autores (2025).

Em alguns casos pontuais, observou-se uma falha mista, combinando falha adesiva (separação na interface) e falha coesiva (ruptura dentro do material, Figura 4b). Visualmente, esses CPs apresentaram áreas lisas e outras com fragmentos aderidos, o que indica uma adesão intermediária, possivelmente causada por variações na interface ou no próprio material.

CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a resistência de aderência entre camadas é significativamente afetada pelo tempo de deposição (5 minutos, 20 minutos e 24 horas) e pelas condições aplicadas, ou seja, o processo de borrifar a solução de hidróxido de cálcio e água entre as camadas. De maneira geral, tempos menores resultaram em maior resistência, enquanto tempos mais longos levaram à redução da aderência, possivelmente devido ao aumento da porosidade na interface. A aplicação de água e solução de hidróxido de cálcio resultou em impacto negativo na resistência, sugerindo que o excesso de umidade compromete a ligação intercamadas. No entanto, em condições específicas, o hidróxido de cálcio mostrou um efeito estabilizador. Além disso, apesar de os corpos de prova apresentarem boa extensão de aderência, a análise dos modos de falha revelou predominância de rupturas adesivas, evidenciando a fragilidade da interface. Esses achados reforçam a importância do controle das condições de deposição das argamassas na impressão 3D para otimizar a aderência entre as camadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] CARASEK, H. Argamassas. In: Isaia, G.C. (ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, cap. 28, p. 893-944.

[2] BUSWELL, R.A.; SILVA, W.R. Leal de; JONES, S.Z.; DIRRENBERGER, J.. 3D printing using concrete extrusion: a roadmap for research. **Cement And Concrete Research**, v. 112, p. 37-49, out. 2018. http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.006.

[3] OLSSON, Nils O. E.; ARICA, Emrah; WOODS, Ruth; MADRID, Javier Alonso. Industry 4.0 in a project context: introducing 3d printing in construction projects**. Project Leadership and Society**, v. 2, p. 100033, dez. 2021. http://dx.doi.org/10.1016/j.plas.2021.100033.

[4] RIAZ, Raja Dilawar; USMAN, Muhammad; ALI, Ammar; MAJID, Usama; FAIZAN, Muhammad; MALIK, Umair Jalil. Inclusive characterization of 3D printed concrete (3DPC) in additive manufacturing: a detailed review. **Construction and Building Materials**, v. 394, p. 132229, ago. 2023. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132229.

[5] KALIYAVARADHAN, Senthil Kumar; AMBILY, P. S.; PREM, Prabhat Ranjan; GHODKE, Swapnil Balasaheb. Test methods for 3D printable concrete. **Automation in Construction**, v. 142, p. 104529, out. 2022.. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104529.

[6] SANJAYAN, Jay G.; NEMATOLLAHI, Behzad; XIA, Ming; MARCHMENT, Taylor. Effect of surface moisture on inter-layer strength of 3D printed concrete. **Construction and Building Materials**, v. 172, p. 468-475, maio 2018. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.232.

[7] CHEN, Yu; HE, Shan; GAN, Yidong; ÇOPUROğLU, Oğuzhan; VEER, Fred; SCHLANGEN, Erik. A review of printing strategies, sustainable cementitious materials and characterization methods in the context of extrusion-based 3D concrete printing. **Journal of Building Engineering**, v. 45, p. 103599, jan. 2022b. http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103599.

[8] MOHAN, Manu K.; RAHUL, A.V.; SCHUTTER, Geert de; VAN TITTELBOOM, Kim. Extrusion-based concrete 3D printing from a material perspective: a state-of-the-art review. **Cement and Concrete Composites**, v. 115, p. 103855, jan. 2021. http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103855.

[9] MARCHMENT, Taylor; SANJAYAN, Jay; XIA, Ming. Method of enhancing interlayer bond strength in construction scale 3D printing with mortar by effective bond area amplification. **Materials & Design**, v. 169, p. 107684, maio 2019. http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107684.

[10] WENG, Yiwei; LI, Mingyang; WONG, Teck Neng; TAN, Ming Jen. Synchronized concrete and bonding agent deposition system for interlayer bond strength enhancement in 3D concrete printing. **Automation in Construction**, v. 123, p. 103546, mar. 2021. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103546.

[11] CHEN, Yu; CHANG, Ze; HE, Shan; ÇOPUROğLU, Oğuzhan; l·AVIJA, Branko; SCHLANGEN, Erik. Effect of curing methods during a long time gap between two printing sessions on the interlayer bonding of 3D printed cementitious materials. **Construction and Building Materials,** v. 332, p. 127394, maio 2022a. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127394.

[12] CARASEK, Helena; ARAUJO, Renato Costa; OLIVEIRA, Andrielli Morais de; CASCUDO, Oswaldo. Impressão 3D de materiais cimentícios: influência da aderência entre camadas nas propriedades mecânicas e na durabilidade. **Concreto & Construções**, v. n. 103, p. 28-33, 2021. http://dx.doi.org/10.4322/1809-7197.2021.103.0001.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: cimento Portland: Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

[14] KHALIL, Noura. Formulation et caractérisation chimique et rhéologique des mortiers imprimables en 3D à base de mélanges de ciments portland et sulfoalumineux. 2018. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Génie Civil, École Des Mines de Douai, Douai, 2018.

[15] Lawrence, S. J.; Cao H. T. Microstruture of the interface between brick and mortar. In: **International Brick and Block Masonry Conference**, Dublin, 1987.p. 194–204

[16] SCARTEZINI, Luís Maurício; CARASEK, Helena. **Uso de solução de cal como substituto do chapisco para alvenarias**. *In*: 8º Concurso Nacional Falcão Bauer de novos materiais, novas ferramentas e novas técnicas para construção civil. COMAT/CBIC – Comissão de Materiais, 2001.

[17] MOTA, João Manoel Freitas; SILVA, Angelo Just da Costa e; CARASEK, Helena; BARBOSA, Fred Rodrigues. Estudo de processos para a redução no consumo dos recursos físicos empregados para incremento da aderência em revestimentos internos de argamassa*. In:* V Encontro Nacional E III Encontro Latinoamericano Sobre Edificações E Comunidades Sustentáveis (ELECS). **Anais [...].** Recife: Antac, 2009.

[18] ANGELIM, Renato Resende; SILVA, Angelo Just da Costa e; CARASEK, Helena; BARBOSA, Fred Rodrigues. Eficiência Do Preparo Do Substrato De Blocos Cerâmicos Com Solução De Cal Na Resistência De Aderência Dos Revestimentos De Argamassa. *In:* Vi Simpósio Brasileiro De Tecnologia De Argamassas. **Anais [...].** Florianópolis: SBSTA, 2005. p. 530-539.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: revestimento de paredes de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2019.

[20] PANDA, Biranchi; PAUL, Suvash Chandra; MOHAMED, Nisar Ahamed Noor; TAY, Yi Wei Daniel; TAN, Ming Jen. Measurement of tensile bond strength of 3D printed geopolymer mortar. **Measurement**, v. 113, p. 108-116, jan. 2018. http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2017.08.051.

[21] PANDA, Biranchi; MOHAMED, Nisar Ahamed Noor; PAUL, Suvash Chandra; SINGH, Gvp Bhagath; TAN, Ming Jen; IAVIJA, Branko. The Effect of Material Fresh Properties and Process Parameters on Buildability and Interlayer Adhesion of 3D Printed Concrete. **Materials**, v. 12, n. 13, p. 2149, 4 jul. 2019. http://dx.doi.org/10.3390/ma12132149.

[22] MUTHUKRISHNAN, Shravan; RAMAKRISHNAN, Sayanthan; SANJAYAN, Jay. Effect of microwave heating on interlayer bonding and buildability of geopolymer 3D concrete printing. **Construction and Building Materials**, v. 265, p. 120786, dez. 2020. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120786.

[23] CHEN, Yu; JANSEN, Koen; ZHANG, Hongzhi; RODRIGUEZ, Claudia Romero; GAN, Yidong; ÇOPUROGLU, Oguzhan; SCHLANGEN, Erik. Effect of printing parameters on interlayer bond strength of 3D printed limestone-calcined clay-based cementitious materials: an experimental and numerical study. **Construction And Building Materials**, v. 262, p. 120094, nov. 2020. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120094.

[24] YANG, Yekai; ZHANG, Chiyu; LIU, Zhongxian; DONG, Liang; YANG, Ting; ZHAO, Qingxin; WU, Chengqing. Effect of Hydration Process on The Interlayer Bond Tensile Mechanical Properties of Ultra-High Performance Concrete For 3D Printing. **Construction And Building Materials**, v. 451, p. 138902, nov. 2024. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138902.

[25] CARASEK, Helena; JAPIASSÚ, Pammila; CASCUDO, Oswaldo; VELOSA, Ana. Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 59, p. 85-98, maio 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.043.

[26] CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials science and engineering**. 10th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018.

[27] HUANG, Xin; YANG, Weihao; SONG, Fangnian; ZOU, Jiuqun. Study on the mechanical properties of 3D printing concrete layers and the mechanism of influence of printing parameters. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 335, p. 127496, jun. 2022. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127496.

[28] CARASEK, Helena. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland a substratos porosos:** avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. 1996. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.