MANUFATURA ADITIVA: UM OLHAR SOBRE SEU PROCESSO DE OPERAÇÃO.

ADDITIVE MANUFACTURING: A LOOK AT ITS OPERATION PROCESS.

1º autor (a) – EDSON DE OLIVEIRA PEDROSO
Estudante de Bacharelado em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário de Tecnologiade Curitiba (UNIFATEC)
Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Endereço: 449, R. Itacolomi, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150
E-mail: edson84957@unifatecpr.com.br

2º autor (a) – Leonardo Henrique Ramos
Estudante de Bacharelado em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário de Tecnologiade Curitiba (UNIFATEC)
Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Endereço: 449, R. Itacolomi, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150
E-mail: leonardo15980@unifatecpr.com.br

3º autor (a) – Leonardo Nievola da Silva
Estudante de Bacharelado em Engenharia Produção pelo Centro Universitário de Tecnologiade Curitiba (UNIFATEC)
Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Endereço: 449, R. Itacolomi, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150
E-mail: leonardo51981@unifatecpr.com.br

Orientador (a) – Igor Thonke
Mestre em Engenharia de Produção e sistemas pelo Programa da Pontifícia

---

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)
Endereço: 449, R. Itacolomi, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150
E-mail: igor.thonke@unifatecpr.com.br

RESUMO
Este trabalho aborda o processo de manufatura aditiva na construção civil, com ênfase nas implicações e considerações relacionadas à engenharia elétrica. A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, representa uma inovação significativa nos métodos construtivos, permitindo a criação de edificações por meio da deposição de materiais camada por camada.
O estudo analisa como esse processo impacta o planejamento e a execução de sistemas elétricos, exigindo uma abordagem integrada desde as etapas iniciais do projeto. A pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão bibliográfica e análise de casos práticos, especialmente em obras-piloto no Brasil que adotaram essa tecnologia. O trabalho busca compreender os desafios, adaptações e oportunidades que a manufatura aditiva oferece para profissionais da engenharia elétrica dentro do contexto da construção civil moderna.

Palavras-chave: Manufatura aditiva, construção civil, impressão 3D, engenharia elétrica, processos construtivos.

ABSTRACT

This work addresses the additive manufacturing process in civil construction, with an emphasis on the implications and considerations related to electrical engineering. Additive manufacturing, also known as 3D printing, represents a significant innovation in construction methods by enabling the creation of structures through the layer-by-layer deposition of material based on a digital model.

The study analyzes how this process impacts the planning and execution of electrical systems, requiring an integrated approach from the initial project stages. The research was conducted through a literature review and analysis of practical cases, especially pilot projects in Brazil that adopted this technology. The work aims to understand the challenges, adaptations, and opportunities that additive manufacturing offers to electrical engineering professionals within the context of modern civil construction.

Keywords: Additive manufacturing, civil construction, 3D printing, electrical engineering, construction processes.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil tem acompanhado, ao longo das últimas décadas, um movimento crescente de inovação tecnológica com o objetivo de tornar os processos construtivos mais eficientes, sustentáveis e automatizados. Nesse contexto, destaca-se a manufatura aditiva, ou impressão 3D, como uma das tecnologias mais promissoras para a transformação do setor. Essa técnica consiste na criação de estruturas por meio da deposição sucessiva de camadas de material, a partir de um modelo digital, permitindo novas possibilidades em termos de forma, tempo de execução e consumo de recursos.

O avanço dessa tecnologia tem exigido adaptações de diversas áreas da engenharia, entre elas a engenharia elétrica, responsável pela concepção, instalação e integração dos sistemas elétricos nas edificações. Com novos processos construtivos, surgem também novas demandas: a necessidade de compatibilização entre o modelo digital da estrutura e os projetos elétricos, o posicionamento preciso de eletrodutos e dispositivos, além da atenção a normas técnicas ainda pouco exploradas para esse tipo de construção.

Este trabalho tem como objetivo analisar o processo de manufatura aditiva aplicado à construção civil, com foco nas suas características, etapas e impactos, destacando os pontos de atenção para a engenharia elétrica. A partir de uma abordagem técnica, o estudo busca compreender como essa tecnologia pode ser adotada de forma eficiente e segura, contribuindo para a evolução integrada das áreas envolvidas no ambiente construtivo (os autores et al., 2025).

2. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como propósito analisar o processo de manufatura aditiva na construção civil, destacando suas características, etapas e implicações para a engenharia elétrica.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

1. Apresentar os fundamentos e o funcionamento do processo de manufatura aditiva aplicado à construção civil;
2. Investigar as adaptações necessárias para a integração dos sistemas elétricos em edificações construídas por manufatura aditiva;
3. Analisar os benefícios e desafios do uso da manufatura aditiva no planejamento e execução de instalações elétricas;
4. Estudar casos práticos e experiências realizadas no Brasil e no mundo que envolvem a integração entre manufatura aditiva e sistemas elétricos;
5. Discutir as perspectivas futuras e as necessidades normativas para viabilizar a adoção ampla dessa tecnologia com segurança e eficiência.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MANUFATURA ADITIVA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, é um processo de fabricação que consiste na deposição sucessiva de camadas de material, guiado por um modelo digital tridimensional (BUSWELL et al., 2018). Aplicada à construção civil, essa tecnologia permite a criação de elementos estruturais, paredes e até edificações inteiras sem a necessidade de formas convencionais ou processos manuais intensivos.

A utilização da impressão 3D em obras civis tem se expandido nos últimos anos devido à sua capacidade de reduzir o tempo de execução, minimizar desperdícios e permitir a personalização de formas arquitetônicas complexas (PERROT et al., 2016). O processo geralmente emprega materiais como argamassa, concreto especial (mistura de concreto com fibra de plástico e gesso), ou compostos desenvolvidos para garantir resistência mecânica e aderência entre as camadas. Em construções de alvenaria por impressão 3D, o material mais comum é o concreto, que pode ser misturado com aditivos e aceleradores de secagem para otimizar o processo. O tempo de secagem depende da complexidade da estrutura e do concreto utilizado, podendo variar de horas e dias. Considerando a construção feita em argamassa

especial duma casa baixa, o tempo de secagem é estimado em 8 horas. A durabilidade e as garantias de uma estrutura impressa em 3D são semelhantes às de construções tradicionais, e a flexibilidade da estrutura é similar, embora possa haver variações em relação ao isolamento acústico, que pode ser melhorado com isolamentos adicionais. Tais como: espuma, fibra de vidro e lã de rocha.

3.2 ETAPAS DO PROCESSO CONSTRUTIVO POR IMPRESSÃO 3D

O processo inicia-se com a modelagem digital da edificação ou do componente estrutural em software de modelagem (CAD ou BIM), seguido da fatiagem do modelo em camadas (slicing). Esse modelo de fatiagem é um conceito central na impressão 3D. Ele define como um modelo digital tridimensional é convertido em instruções que a impressora 3D pode executar para criar uma peça física, camada por camada geralmente em formato STL, OBJ ou 3MF. O arquivo gerado é então transferido para a impressora 3D, que executa a deposição automática do material conforme a geometria definida (LIM et al., 2012).

As impressoras utilizadas podem ser de dois tipos: braços robóticos articulados ou sistemas de trilhos que operam em grandes áreas (modelo proposto do artigo). A execução do processo requer controle rigoroso de parâmetros como velocidade de extrusão, temperatura, composição do material e tempo de cura.



Figura 1. Impressora 3D com sistemas de trilhos, tipo pórtico (gantry) para construção civil.
Fonte: Gustavo Roque (2024)

Esse sistema de impressora por trilhos, forma uma grande moldura metálica sobre a área de construção, permitindo movimentação nos eixos x, y e z – ideal para depositar camadas de concreto em larga escala.

3.3 PRINCIPAIS COMPONENTES DA IMPRESSORA 3D DE CONCRETO

- Estrutura tipo pórtico (gantry - trilhos): Permite movimentos nos eixos X, Y e Z; composta por trilhos, guias e suportes metálicos.
- Cabeçote de impressão (nozzle - bocal): Responsável pela extrusão do concreto; possui bicos intercambiáveis para diferentes larguras de camada.
- Sistema de bombeamento: Utiliza bombas de pistão ou helicoidais para transportar o concreto até o cabeçote; inclui mangueiras e conexões resistentes à abrasão.
- Sistema de mistura: Mistura o concreto continuamente para manter a consistência ideal; Evita a segregação dos materiais durante a impressão.
- Sistema de controle: Computador embarcado que converte modelos digitais em instruções de impressão e controla movimentos, velocidade e fluxo de material.
- Sistema de alimentação de material: inclui silos ou funis que armazenam o concreto antes da mistura e bombeamento.

3.4 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

- Para garantir o desempenho e a execução do trabalho pela impressora, é preciso seguir um plano de manutenção regular;
- Limpeza diária: Lavar o cabeçote de impressão e as mangueiras após cada uso para evitar endurecimento do concreto residual; limpar o sistema de mistura e bombeamento com água e esferas de limpeza
- Lubrificação semanal: Aplicar lubrificante nas guias lineares; rolamentos e outras partes móveis para reduzir o desgaste.
- Inspeção mensal: Verificar o alinhamento dos trilhos e a tensão das correias ou correntes; inspecionar conexões elétricas e sensores para garantir o funcionamento adequado.
- Atualizações de software: Manter o sistema de controle atualizado para aproveitar melhorias de desempenho e correções de bugs.

3.5 PEÇAS COM MAIOR ÍNDICE DE MANUTENÇÃO

- Alguns componentes estão mais sujeitos a desgaste e falhas: Bico de impressão: Pode entupir devido ao acúmulo de material ou desgaste, recomenda-se inspeção e limpeza frequente.

- Mangueiras de concreto: Sofrem abrasão constante e podem apresentar vazamentos, devem ser substituídas periodicamente.
- Bombas de alimentação: Componentes internos podem se desgastar, reduzindo a eficiência, uma Manutenção preventiva é indispensável para evitar paradas inesperadas.
- Sensores e cabos elétricos: os mesmos expostos a ambientes agressivos, podem falhar se não forem devidamente protegidos, é preciso que se faça as verificações regulares para identificação de problemas precocemente (BOSCHETTI, S; KRUSHIANSKI, E; 2020)

3.6 VANTAGENS E DESAFIOS

As principais vantagens da manufatura aditiva na construção civil incluem a redução de custos com mão de obra, menor geração de resíduos, maior precisão na execução e liberdade arquitetônica. Além disso, o processo é altamente escalável e compatível com metodologias construtivas sustentáveis (KRUSHIANSKI; BOSCHETTI, 2020).

No entanto, ainda existem desafios relevantes: a resistência das estruturas; quando se denota sua compressão e flexão, a durabilidade dos materiais, a limitação de altura das construções; que por sua vez assegurada atualmente em seis metros de altura, a compatibilidade com instalações complementares e a falta de normas técnicas específicas.

Essas limitações tornam a tecnologia ainda pouco difundida em larga escala, especialmente em países em desenvolvimento.

3.7 A ENGENHARIA ELÉTRICA NO CONTEXTO DA IMPRESSÃO 3D DE EDIFICAÇÕES

Um dos principais desafios da aplicação da manufatura aditiva em edificações é a integração dos sistemas elétricos ao processo construtivo. Em métodos convencionais, as instalações elétricas são executadas após a alvenaria, com cortes e embotamentos. Já na impressão 3D, a execução em camadas exige que essas passagens estejam previstas no modelo digital desde o início (MARSH et al., 2019).

A ausência de planejamento adequado pode comprometer o desempenho e a segurança elétrica da edificação. Portanto, engenheiros eletricistas devem participar ativamente da fase de projeto, colaborando na modelagem BIM e na definição dos trajetos de eletrodutos, pontos de iluminação, quadros e dispositivos.

Além disso, novos métodos de instalação, como conduítes impressos ou canais

integrados às paredes, estão sendo estudados para compatibilizar a construção automatizada com as exigências elétricas. A padronização desses elementos e a adequação às normas da ABNT são fatores essenciais para a viabilidade do sistema.

4. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado por meio de uma abordagem qualitativa e exploratória, fundamentada em uma revisão bibliográfica sistemática, com o levantamento de artigos científicos, dissertações, teses, publicações técnicas, normas e estudos de caso relacionados à manufatura aditiva aplicada à construção civil.

Além da pesquisa teórica, foi realizada uma análise de casos práticos e projetos pilotos, tanto no Brasil quanto no exterior, com ênfase na aplicação da impressão 3D no setor da construção civil e seus impactos nos sistemas elétricos.

Para enriquecer a pesquisa, foram selecionados projetos específicos que empregaram a manufatura aditiva na execução de edificações, observando como os processos elétricos foram planejados, integrados e executados dentro dessa metodologia construtiva. As edificações analisadas são classificadas da seguinte forma:

- Projeto de Habitação Popular impressa em 3D – Curitiba – PR (Projeto Conceitual)
- Projeto de Unidade Habitacional impressa em 3D – Macapá – AP (Estudo de Caso Nacional)
- Projeto Habitacional por impressão 3D – Austin – Texas, EUA (Estudo Internacional)
- Projeto de Unidade Modular impressa em 3D – Dubai, Emirados Árabes (Estudo Internacional)

Aqui, podemos destacar o projeto de unidade modular impressa em 3D em Dubai. Que por sua vez a construção foi nomeada como fundação Dubai future – 2016, A impressora 3D utilizada na construção tem cerca de 6 metros de altura, 12 metros de largura e 36 metros de comprimento. O trabalho envolvido, desde a monitoração da impressora até a construção em si, resumiu-se a um grupo de sete pessoas para instalação dos componentes do prédio e mais uma equipe de 10 especialistas em engenharia elétrica e mecânica. O custo com a mão de obra foi reduzido em mais de 50%, ao todo foram construídos 250 metros quadrados de área de alvenaria bruta em concreto em apenas 17 dias, considerando os seus 6 mts de altura. Quando em comparação uma casa deste padrão a ser feito no modo manual convencional levaria de 7

a 9 meses corrido. Com capacidade para atuar em áreas de até 17,5x23,5 metros e alturas de 6,5 metros, a impressora 3D é capaz de imprimir casas e barracões de até dois andares. A estrutura é feita com um micro concreto de 45 milímetros de espessura, composto de cimento, que, além de impermeável, oferece resistência à prova de tiros.



Figura 2. Primeiro projeto executado em modelagem impressora 3D em Dubai
Fonte:https://cimento.org/dubai-constroi-o-primeiro-predio-funcional-em-uma-impressora-3d/ (2016)

Embora a tecnologia de construção através de impressoras 3D seja ainda muito recente, a indústria da construção civil espera que tecnologia possa acelerar os tempos de construção, reduzir os custos e o desperdício de materiais. Segundo os especialistas, os tempos de construção poderão ser reduzidos entre 50 e 70 por cento, a mão de obra poderá ser reduzida em até 80%, além de se tornar uma alternativa ecológica, já que as impressões em 3D podem eliminar até 60 por cento dos resíduos das construções. A seleção dessas edificações permite observar diferentes realidades tecnológicas, climáticas e normativas, além de compreender como a engenharia elétrica se adapta às especificidades da manufatura aditiva.

Por meio desta metodologia, busca-se identificar os principais desafios, soluções e adaptações no que diz respeito ao planejamento, compatibilização e execução das instalações elétricas em edificações produzidas com impressão 3D, considerando aspectos normativos, operacionais e de eficiência.



Figura 3. Primeira casa construída com impressora 3D no Brasil.
Fonte: UFPR e PetCivil (2020)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise dos materiais estudados, dos projetos visitados virtualmente e das informações coletadas, foi possível observar que a **manufatura aditiva aplicada à construção civil** tem se mostrado uma tecnologia com grande potencial de transformação para o setor, tanto no aspecto estrutural quanto nos sistemas complementares, como as instalações elétricas.

Em relação ao **processo construtivo**, os principais resultados observados incluem:

- **Redução significativa no tempo de execução das obras**, chegando a até 70% menos em comparação aos métodos convencionais.
- **Diminuição do desperdício de materiais**, uma vez que o processo é altamente preciso, depositando o material apenas onde é necessário.
- **Padronização das etapas construtivas**, com menor necessidade de mão de obra especializada para processos manuais.

5.1 IMPACTOS NOS SISTEMAS ELÉTRICOS

Durante as análises dos processos, foram identificados alguns desafios e necessidades de adaptação no que se refere aos sistemas elétricos:

- A necessidade de **revisão nos projetos de embutimento de eletrodutos**, já que as paredes são executadas em camadas, o que dificulta métodos tradicionais de corte e abertura de rasgos para passagem de eletrodutos.
- Soluções como **moldagem de conduítes diretamente durante a impressão** ou utilização de sistemas elétricos externos e modulares se mostram mais viáveis.

- A tendência do uso de **sistemas elétricos aparentes com acabamento arquitetônico moderno**, muito comuns em projetos de manufatura aditiva.

5.2 ESTUDOS DE CASOS ANALISADOS

Os projetos analisados apresentaram os seguintes resultados:

- **Projeto em Austin, Texas:** Redução de custos operacionais e eficiência energética elevada, com integração de sistemas fotovoltaicos na cobertura e conduítes planejados digitalmente no modelo 3D antes da impressão.
- **Projeto em Macapá, AP:** Adaptação para condições climáticas brasileiras, com preocupação especial com os sistemas de proteção contra umidade e acomodação dos quadros de distribuição elétrica.
- **Projeto em Dubai:** Adoção de soluções de automação predial e uso de conduítes inteligentes, totalmente pré-planejados no modelo BIM e executados durante o processo de impressão.

5.3 DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Os principais desafios identificados foram:

- **Adequação às normas técnicas brasileiras (NBR 5410, NBR 15575, entre outras)**, que ainda não possuem diretrizes específicas para edificações impressas em 3D.
- Desenvolvimento de **materiais compostos compatíveis tanto estruturalmente quanto para passagem de instalações elétricas**.
- Necessidade de **capacitação de engenheiros eletricistas** para atuação em obras que utilizem manufatura aditiva.

Por outro lado, as oportunidades se destacam:

- Maior integração com tecnologias de energia renovável, automação e Internet das Coisas (IoT).
- Redução no consumo de materiais metálicos (como eletrodutos) por uso de alternativas embutidas diretamente na impressão.
- Possibilidade de desenvolvimento de **projetos elétricos parametrizados**, otimizados digitalmente para serem executados junto com a estrutura.

5.4 ANÁLISE PRÁTICA DE TESTES DO PROCESSO EM BANCADA PELOS AUTORES

A realização dos testes em bancada foi essencial para validar na prática os conceitos teóricos abordados ao longo do trabalho. Durante os testes, foi possível observar o comportamento real dos componentes, identificar falhas, ajustar conexões e compreender o funcionamento integrado do sistema.

A montagem prática permitiu simular situações reais de operação, como acionamento, parada, resposta a comandos e detecção de falhas, proporcionando uma visão mais clara do desempenho do circuito/sistema. Além disso, os testes contribuíram para aprimorar a interpretação de esquemas elétricos, a aplicação correta de dispositivos de proteção e a importância da organização dos condutores e conexões.

Entre os principais pontos observados durante os testes, destacam-se: A necessidade de revisar conexões para garantir o funcionamento adequado; A confirmação do funcionamento correto dos dispositivos de controle e proteção; A verificação da lógica de funcionamento proposta no projeto.

Esses testes foram fundamentais para reforçar o aprendizado prático e evidenciar a importância da análise e observação do comportamento detalhado durante a montagem de qualquer sistema técnico. Pode-se afirmar que a prática em bancada é uma etapa indispensável na formação profissional, pois consolida e qualifica o conhecimento adquirido de forma concreta e aplicada.

Aqui podemos acrescer que em bancada foi utilizada como experimento de construção uma impressora modelo 3D Creality K1C que por sua vez também representa um avanço significativo na fabricação aditiva de mesa, especialmente voltada para usuários que desejam trabalhar com materiais de engenharia como fibra de carbono, nylon e policarbonato. O que para nós voltados a área de tecnologia se torna um material considerado para testes, análise do projeto e outros. Baseada na consagrada série K1, a K1C se destaca por oferecer maior robustez estrutural, um sistema de extrusão de alta temperatura (até 300 °C) e uma câmara de impressão semifechada, que favorece a estabilidade térmica necessária para materiais técnicos.

Um dos diferenciais mais relevantes da K1C está no reforço do eixo Z, que utiliza dois motores independentes com parafusos de avanço sincronizados e hastes lineares mais espessas, conferindo maior precisão e estabilidade vertical durante a impressão. Essa melhoria reduz significativamente problemas como z-wobble (erro quando há oscilações ou

desalinhamentos no movimento vertical do bico extrusor, o que causa imperfeições visíveis nas paredes das peças (quando no simulador) impressas, com maior índice inclusive nas cartesianas que usam parafusos de avanço no eixo Z) normalmente em forma de ondulações repetitivas ao longo da altura da peça bem como variações de camada, comuns em impressoras com estruturas menos rígidas. Além disso, a K1C é equipada com um sistema de extrusão direta totalmente metálico, compatível com compostos abrasivos, e uma ventoinha de alta performance com filtragem de ar (filtro de carvão ativado), garantindo qualidade de impressão e segurança em ambientes fechados. Sua velocidade de impressão também é elevada, atingindo até 600 mm/s, o que a posiciona entre as impressoras rápidas do mercado. Com esses recursos, a Creality K1C se apresenta como uma solução viável para prototipagem funcional de plantas residenciais usando materiais de alto desempenho, o que ditam uma semelhança ao retratar a prática

Para este ensaio foi utilizado formatos de arquivos 3D STL e software de fatiamento Orca slicer.



Figura 4. Impressora para análise prática.
Fonte: Os autores (2025)

6. REFERENCIAS:

BUSWELL, R. A.; LEAL DE SILVA, W. R.; JONES, S. Z.; DIRRENBERGER, J. (2018). *3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research*. Cement and Concrete Research, 112, 37–49.

LIM, S.; BUSWELL, R. A.; LEAL DE SILVA, W. R.; ALEXANDER, J. M. (2012). *Developments in construction-scale additive manufacturing processes*. Automation in Construction, 21, 262–268.

PERROT, A.; RANGEARD, D.; ESTELLE, P. (2016). *3D printing of earth-based materials: Processing aspects*. Construction and Building Materials, 172, 670–676.

KRUSHIANSKI, F.; BOSCHETTI, A. (2020). *Impressão 3D na construção civil: aplicações, desafios e oportunidades no Brasil*. Revista Engenharia em Foco, 12(2), 45–58.

MARSH, A. T. M. et al. (2019). *Electrical and mechanical systems integration in 3D-printed construction*. Journal of Building Engineering, 25, 100819.

ICON Technology Inc. (2021). *Projects*. Disponível em: https://www.iconbuild.com – Empresa responsável por projetos em Austin, Texas.

Apis Cor (2022). *3D printed buildings projects*. Disponível em: https://www.apis-cor.com – Empresa que realizou projetos nos Emirados Árabes.

Habitat for Humanity (2021). *First 3D printed home in the U.S.* – Projeto de habitação social em impressão 3D nos EUA. Disponível em: https://www.habitat.org

Projeto de habitação 3D no Amapá – Reportagens de veículos como G1, ArchDaily Brasil e CNN Brasil (2022).

GIL, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. (2017). *Fundamentos de metodologia científica*. 8. ed. São Paulo: Atlas.

YIN, R. K. (2016). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman.

PERKINS, I.; SKITMORE, M. (2015). *Three-dimensional printing in the construction industry: A review*. International Journal of Construction Management, 15(1), 1–9.