



IMPRESSÃO 3D SUSTENTÁVEL COM ARGAMASSA DE RESÍDUOS DE ROCHAS: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Maria Luiza Lima da Silva

Graduanda em Licenciatura em Geografia, Técnica em Mineração, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
silva.luiza3@escolar.ifrn.edu.br

Igor Henrique Lima da Silva

Graduando em Tecnologia em Redes de Computadores, Técnico em Mineração, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
h.igor@escolar.ifrn.edu.br

Wygna Paula de Souza Nascimento

Graduanda em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
wygna.paula.705@ufrn.edu.br

Tércio Graciano Machado

Graduado em Engenharia Mecânica, Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais (UFRN), Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
gracianomil@hotmail.com

Djalma Valério Ribeiro Neto

Graduado em Tecnologia em Gestão Ambiental, Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental (UFPB), Técnico de Laboratório do IFRN Campus Natal-Central, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
djalma.neto@ifrn.edu.br

Flánelson Maciel Monteiro

Graduado em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Direito, Doutor em Engenharia Mecânica (UFRN), Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
flanelson.monteiro@ifrn.edu.br

Resumo: O setor de rochas ornamentais no Brasil é responsável por uma significativa produção, mas gera consideráveis resíduos durante a extração e beneficiamento. Dessa maneira, este artigo científico possui como objetivo investigar, utilizando como método a revisão da literatura, a utilização de resíduos de rochas ornamentais para produção de argamassas em impressão 3D. Essa técnica visa buscar a sustentabilidade dos processos do setor da construção civil, além de ser uma alternativa tecnológica. A pesquisa aborda o problema da grande quantidade de resíduos gerados, destacando que cortes de rochas ornamentais podem resultar em até 25% de material descartado. A metodologia inclui uma revisão bibliográfica qualitativa, focando em estudos que avaliam o impacto da substituição da areia por resíduos de rochas ornamentais nas propriedades mecânicas das argamassas. Os resultados indicam que essa substituição não apenas melhora a resistência mecânica, mas também reduz o desperdício de recursos não renováveis, tornando o processo mais sustentável. Conclui-se que a impressão 3D com resíduos de rochas ornamentais representa uma solução promissora para minimizar os impactos ambientais, ao mesmo tempo em que potencializa a eficiência na construção civil.



Palavras-chave: Mineração, Resíduo Sólido, Sustentabilidade e Inovação Tecnológica.

1. Introdução

O setor de rochas ornamentais no Brasil é reconhecido por sua grande diversidade de matérias-primas. Os agregados sólidos rochosos, principalmente os que possuem estética para o mercado, formam um setor significativo que contribui fortemente para a economia. Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas na NBR 15012:2013, a rocha ornamental é um material em seu estado sólido natural, sendo usada principalmente para a função estética. Submetida a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, é utilizada especialmente em pisos, paredes e no setor da construção civil.

O Estado brasileiro do Espírito Santo se destaca no protagonismo da produção de rochas ornamentais, representando 78% da produção nacional. No entanto, apesar do seu potencial econômico para esse setor, a atividade de extração de rochas ornamentais gera um grande volume de resíduos (Bahense, 2021).

De acordo com Santos (2013), quando falamos em cortes de blocos de rochas ornamentais em chapas, podemos destacar a quantidade significativa de geração de resíduos em forma de lama, que é equivalente a 20% a 25% do material, descartados no meio ambiente.

Diante do cenário atual, as buscas por alternativas sustentáveis e inovadoras tanto para reduzir custos quanto para diminuir os desperdícios estão presentes em todos os setores e áreas, como a área civil, por exemplo. Portanto, a impressão 3D emerge como uma solução revolucionária no mercado.

Figura 1 – Primeira casa do Brasil feita com impressão 3D.



Fonte: 3DHomeConstruction (2020).



Na figura 1 encontra-se a primeira casa do Brasil construída com a tecnologia de impressão 3D já é realidade no município de Macaíba, no Rio Grande do Norte. Sob a orientação do professor-doutor André Felipe Oliveira de Azevedo Dantas, os engenheiros civis Allynson Aarão César Xavier e Iago Felipe Domingos da Silva, vinculados à Universidade Potiguar (UnP), viabilizaram o processo de impressão utilizando concreto como matéria-prima. Os três também se envolveram com a construção da impressora, ao longo de um projeto que começou há 3 anos. Nesse desenvolvimento, o trio teve o apoio do centro de excelência em pesquisa aplicada da UnP (SANTOS, 2020).

Atualmente, diversas técnicas de impressão em 3D estão disponíveis, contudo, o princípio fundamental ainda é o da fabricação aditiva, onde o material é gradualmente adicionado camada por camada. Essa abordagem, nos últimos anos tem sido aplicada na criação de órgãos artificiais, como substituições para joelhos, quadris e outras articulações e membros, além de permitir um maior nível de personalização em brinquedos, jóias e outros produtos consumíveis (GARDINER, 2011).

Dessa maneira, este artigo científico possui como objetivo investigar, utilizando como método a revisão da literatura, a utilização de resíduos de rochas ornamentais para produção de argamassas em impressão 3D

2. Fundamentação teórica

Nos últimos anos, a tecnologia de impressão 3D tem se destacado, especialmente nas últimas décadas, tornando-se uma atividade alternativa importante no processo de prototipagem. Ela contribui para uma gestão mais ágil, permitindo a criação de protótipos e formas de diversos tamanhos e complexidades, com redução de custos e maior eficiência (PEREZ, 2021).

Um dos princípios fundamentais da impressão 3D de concreto é a forte interdependência entre o design, o material, o processo de impressão e o produto final. Para garantir a consistência da qualidade dos produtos impressos, Wolfs (2015) sugere o uso de modelagem paramétrica associativa, que permite ajustar os parâmetros de impressão para diferentes designs e garantir que as propriedades dos materiais sejam mantidas ao longo do processo (BOS, 2016).

A tecnologia de impressão 3D é conhecida como manufatura aditiva. De acordo com Formiga (2021), um processo avançado de fabricação da impressão pode confeccionar peças geométricas complexas. Essa inovação tecnológica está sendo utilizada em diversos setores da indústria por suas vantagens de permitir a criação rápida de protótipos funcionais, otimizar o planejamento iterativo, acelerar a tomada de decisões, reduzir a intervenção humana e o desperdício de material.

"A printabilidade de compósitos cimentícios é influenciada por diversos fatores, como parâmetros de impressão (por exemplo, altura da camada, tamanho do bico, velocidade de impressão), propriedades do material (por exemplo, tensão de escoamento, viscosidade) e a geometria da estrutura. Obter uma qualidade de impressão consistente e confiável em diferentes geometrias e escalas é um grande desafio na manufatura aditiva de compósitos cimentícios" (SINGH p. 32-33, 2023).



Segundo o estudo realizado, a substituição parcial da areia para o resíduo de rocha ornamental nas argamassas impressas aumentou a resistência, tendo o seu potencial de agir nas argamassas como filler, preenchendo os vazios menores. Além disso, por ter essa particularidade de ser rica em calcita (CaO), ratifica a alta porosidade do resíduo (JUNIOR, 2022).

A influência da substituição usando os resíduos ornamentais melhora o comportamento das argamassas, impulsionando o melhoramento do filler, a construtibilidade e a printabilidade, tornando a atividade em um custo-benefício, reduzindo a quantidade de cimento utilizada e utilizando recursos não renováveis (DRUMOND, 2023).

3. Metodologia

Diante do cenário global atual, o assunto mais relevante nas pesquisas científicas é a adoção de medidas mitigadoras e sustentáveis para o nosso planeta Terra. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram estabelecidos pela Organização das Nações Unidas em 2015, como parte da Agenda 2030.

De acordo com a figura 2 e com a UNO (2024), observamos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em especial o de número 17 — Parcerias e Meios de Implementação visam fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável. Ou seja, investir no desenvolvimento sustentável é uma questão que já vem sendo discutida e gerando uma preocupação crescente para que possamos adotar um planejamento sustentável.

Figura 2 – Agenda 2030 da ONU.



Fonte: Nações Unidas, 2015.

O estudo adotado para esta pesquisa é baseado em uma revisão bibliográfica da literatura, discutindo pontos importantes relacionados à sustentabilidade e inovações tecnológicas no



caso da impressão 3D, com o uso de recursos não renováveis, destacando suas vantagens tecnológicas, como a otimização do planejamento das peças.

O método utilizado foi o qualitativo, por meio de uma revisão da literatura. Com o uso desse método, foi estruturada uma investigação baseada na análise de artigos, que foram examinados ao longo da pesquisa. Para essa revisão foram empregadas o uso de palavras chaves como “rocha ornamental”, “resíduo sólido”, “impressão 3D”, “sustentabilidade” e “inovação tecnológica”.

A pesquisa foi realizada com base em palavras-chave específicas e buscou plataformas como SciELO, periódicos da CAPES. Assim, foi possível realizar um estudo sistemático sobre o tema.

4. Resultados

No estudo da literatura, podemos destacar a tecnologia de impressão 3D como uma inovação tecnológica, uma vez que essa atividade traz alguns benefícios, principalmente em questões de otimização de processos nos setores em que ela for inserida. No caso da temática tratada nesta revisão, os dados coletados indicam que a substituição por resíduos de rocha ornamental oferece uma série de benefícios.

Um dos resultados observados na literatura que mencionamos pontos voltados ao aumento da resistência mecânica das argamassas impressas com o uso de resíduos de rochas ornamentais. A substituição de materiais convencionais, como o cimento e a areia, por resíduos não renováveis, assim diminuindo a redução do consumo de recursos naturais e a minimização dos resíduos gerados pela indústria de rochas ornamentais. Como já mencionado antes por Santos, esse fator é relevante, considerando o grande volume de resíduos gerados pela extração e beneficiamento das rochas.

Outro aspecto importante discutido na pesquisa é a printabilidade das argamassas com resíduos de rochas ornamentais. A printabilidade é influenciada por diversos fatores, como a consistência da mistura, o tamanho do bico de impressão e a geometria do objeto a ser impresso. Ainda que garantir uma impressão consistente e confiável em diferentes geometrias e escalas é um desafio.

O uso da impressão 3D com resíduos de rocha ornamental na argamassa traz vantagens significativas, como a melhoria das propriedades do material. Essa abordagem aumenta a resistência, potencializa a atuação do resíduo como filler, preenchendo vazios menores, e melhora a construtibilidade e a printabilidade. Além disso, essa prática reduz o desperdício, diminui a quantidade de cimento utilizada e permite a substituição de recursos não renováveis.

Uma das características das rochas ornamentais é sua composição rica em sílica, que, na maioria das vezes, pode ser o exemplo do granito (mais de 65% de SiO_2). Os principais minerais que contribuem para a sílica no granito são o quartzo e os feldspatos, que, juntos, podem compor entre 85% e 95% da rocha.

Os resíduos têm como principal elemento a sílica (SiO_2), que é característica de rochas ácidas (rochas silicatadas) (Santos, 2013). Estudos mostram que o composto químico a sílica melhora a resistência mecânica do material no qual é inserida.



No estudo realizado sobre a incorporação de resíduos de rochas ornamentais em blocos cerâmicos, as propriedades físicas e mecânicas dos blocos apresentaram melhorias. A incorporação desse resíduo resultou em um aumento significativo na resistência à flexão dos blocos cerâmicos e uma redução na absorção de água, especialmente em temperaturas de queima elevadas (Targino, 2017). Apesar de o estudo sobre blocos cerâmicos citado não ter ligações com a impressão 3D, ele evidencia o uso relevante dos resíduos. Não só esse estudo, mas também outros evidenciam pontos de melhoria para o uso desse recurso não renovável em outros setores

Em termos de sustentabilidade, a incorporação desses resíduos na impressão 3D reduz significativamente o acúmulo gerado por essa extração e beneficiamento, uma vez que a impressão permite um controle mais preciso sobre a quantidade de material utilizado.

5. Conclusões

Conforme estudado nesta revisão da literatura, podemos destacar a proeminência do uso da impressão 3D com resíduos de rocha ornamental, quando tratando-se de um recurso não renovável. Essa tecnologia traz eficiência na produção, dando ênfase na área da construção civil, permitindo que seu produto seja feito de forma bem planejada.

A composição dos resíduos, diante dos estudos, tem apontado que o uso desse recurso não renovável melhora as propriedades físicas e mecânicas. A resistência e a função de filler que o resíduo desempenha ao preencher os vazios contribuem para uma maior durabilidade e consistência. A printabilidade, apesar de ainda ser desafiadora, pode ser otimizada por meio de ajustes e parâmetros de impressão, tendo maior eficácia e, assim, tornando-se uma ferramenta tecnológica de impressão 3D versátil para atender à demanda do mercado.

A sustentabilidade também está presente na literatura, pois um resíduo que muitas vezes é indesejado pelas empresas pode ser aproveitado, contribuindo para a minimização dos impactos que esse pó pode causar no meio ambiente e na sociedade. A reutilização desse material traz melhorias em seus aspectos, diminuindo o descarte inadequado. Essa inovação tecnológica não apenas favorece a sustentabilidade ambiental, mas também oferece um excelente custo-benefício ao setor da construção, tornando-se uma solução viável para a gestão inteligente de resíduos.

6. Agradecimentos (quando houver)

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN) pelo apoio, confiança e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho. Muito obrigado pelo suporte e incentivo.



7. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15012. Rochas para revestimentos de edificações — Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 23 p.

BAHIENSE, Alexandre Vianna. Dosage of interlocking paving with ornamental rock waste: an experimental design approach, particle packing and polluting potential. *Case Studies in Construction Materials*, v. 15, p. e00596, 2021.

BOS, F. P.; WOLFS, R. J. M.; AHMED, Z. Y.; SALET, T. A. M. Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*, v. 11, n. 3, p. 209-225, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867>.

CIMENTO ITAMBÉ. Projeto no RN constrói 1ª casa do Brasil com impressora 3D. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/projeto-no-rn-constroi-1a-casa-do-brasil-com-impressora-3d/>. Acesso em: 29 set. 2024.

DRUMOND, Pedro Henrique Cota. Utilização de resíduo de rocha ornamental como filler em argamassa para impressão 3D. *Anais do 6º ConRensol*, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.VII-016>. Acesso em: 26 set. 2024.

FORMIGA, Caio Vinicius Efigenio; CARNEIRO, Marcos Lajovic. Impressão 3D para construção civil: revisão da literatura e desafios. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 13, n. 4, 2021.

GARDINER, James. Exploring the emerging design territory of construction 3D printing-project led architectural research. 2011. Tese (Doutorado em Arquitetura) — RMIT University, 2011.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs?_gl=1*1vl75da*_ga*MTI0OTA3MDg2Mi4xNzI3Mzk5NjE3*_ga_TK9BQL5X7Z*MTcyNzM5OTYxNi4xLjEuMTcyNzM5OTYyNC4wLjAuMA. Acesso em: 26 set. 2024.

QUEIROZ JÚNIOR, Cleanto Carlos de. Estudo da influência da substituição parcial da areia natural pelo resíduo proveniente do corte de pedras ornamentais nas propriedades de argamassas para impressão 3D. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.

PEREZ NETO, Hugo. Iniciativas sustentáveis em relação ao uso da impressão 3D. 2021.



SANTOS, Max M. Aguiar; DESTEFANI, A. Z.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 18, p. 1442-1450, 2013.

SINGH, N.; COLANGELO, F.; FARINA, I. Sustainable non-conventional concrete 3D printing—A review. *Sustainability*, v. 15, p. 10121, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su151310121>. Acesso em: 26 set. 2024.

TARGINO, I. F. Avaliação do desempenho de blocos cerâmicos incorporados com resíduo de quartzito em pó. 2017.