

## Impressão 3D de Pedras Porosas para Ensaios Geotécnicos: Desenvolvimento e Validação Experimental

Mauro Aguiar Azevedo Maya Filho

Discente, Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Alegrete-RS, Brasil,  
[mauromaya.aluno@unipampa.edu.br](mailto:mauromaya.aluno@unipampa.edu.br)

Mariana Aguilar Alves Antunes

Discente, Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Alegrete-RS, Brasil,  
[marianaaguilar.aluno@unipampa.edu.br](mailto:marianaaguilar.aluno@unipampa.edu.br)

Diego Arthur Hartmann

Docente, Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Alegrete-RS, Brasil,  
[diegohartmann@unipampa.edu.br](mailto:diegohartmann@unipampa.edu.br)

Raquel Mariano Linhares

Docente, Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Alegrete-RS, Brasil,  
[raquellinhares@unipampa.edu.br](mailto:raquellinhares@unipampa.edu.br)

Jaelson Budny

Docente, Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Alegrete-RS, Brasil,  
[jaelsonbudny@unipampa.edu.br](mailto:jaelsonbudny@unipampa.edu.br)

**RESUMO:** As pedras porosas são elementos essenciais em ensaios geotécnicos laboratoriais, como os de adensamento e permeabilidade, atuando como meios drenantes. Apesar de sua importância, apresentam baixa resistência mecânica, o que compromete sua durabilidade frente ao manuseio frequente. Tradicionalmente, são produzidas com elevada porosidade, obtida pela combinação de granulometria adequada e agentes aglutinantes. Contudo, tanto a aquisição junto a fornecedores especializados quanto a produção em laboratório demandam custos e tempo significativos, fatores limitantes em contextos de maior restrição operacional. Nesse cenário, a manufatura aditiva, especialmente a impressão 3D, configura-se como alternativa promissora devido ao baixo custo, acessibilidade e elevado potencial de customização. Este estudo tem como objetivo desenvolver pedras porosas impressas em 3D capazes de substituir as convencionais, com propriedades ajustáveis conforme as demandas experimentais. A pesquisa será estruturada em quatro etapas: caracterização das pedras usuais, desenvolvimento de modelo digital paramétrico em código aberto, impressão dos protótipos e validação em ensaios de permeabilidade e adensamento. O modelo permitirá ajustes de geometria e porosidade, ampliando a aplicabilidade. Espera-se que os protótipos apresentem desempenho equivalente às pedras tradicionais, proporcionando maior padronização e confiabilidade. A disponibilização do modelo em código aberto fomentará replicabilidade e inovação, contribuindo para o avanço da engenharia geotécnica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adensamento, Geotecnia, Impressão 3D, Pedras Porosas, Permeabilidade.

**ABSTRACT:** Porous stones are essential elements in geotechnical laboratory tests, such as consolidation and permeability assays, where they function as drainage media. Despite their importance, they exhibit low mechanical strength, which compromises their durability under frequent handling. Traditionally, they are manufactured with high porosity, achieved through the combination of suitable granulometry and binding agents. However, both acquisition from specialized suppliers and in-laboratory production involve significant costs and time, which can be limiting factors in contexts with operational constraints.

In this scenario, additive manufacturing, particularly 3D printing, emerges as a promising alternative due to its low cost, accessibility, and high customization potential. This study aims to develop 3D-printed porous stones capable of replacing conventional ones, with properties adjustable according to experimental demands.

The research will be structured in four stages: characterization of conventional stones, development of an open-source parametric digital model, printing of prototypes, and validation through permeability and consolidation tests. The model will allow adjustments in geometry and porosity, broadening its applicability. The prototypes

are expected to present performance equivalent to traditional stones, ensuring greater standardization and reliability. The open-source availability of the model will foster replicability and innovation, contributing to advancements in geotechnical engineering.

**KEYWORDS:** Consolidation, Geotechnics, 3D Printing, Porous Stones, Permeability.

## 1 INTRODUÇÃO

As pedras porosas são componentes fundamentais na realização de ensaios laboratoriais, especialmente nos de adensamento e permeabilidade, onde as mesmas atuam como elementos drenantes que possibilitam a dissipação apropriada das pressões neutras nos corpos de prova (Head, 1994; Lambe & Whitman, 1969). A presença desses elementos drenantes bem como o seu desempenho satisfatório é de suma importância para a confiabilidade dos resultados. Tipicamente, essas pedras são produzidas através da união de agregados de granulometria controlada com agentes aglutinantes, de modo que possa ser garantida uma elevada porosidade e adequada resistência para o constante manuseio em laboratórios, entretanto, a fragilidade do material, a onerosidade da aquisição em mercado e a dificuldade de produção artesanal, acaba complexificando o acesso a pedras porosas de qualidade, especialmente em laboratórios pequenos e distantes de grandes centros.

Nesse cenário, a impressão 3D surge como uma alternativa viável e promissora, essa perspectiva permite um maior controle da geometria, porosidade e da resistência dos elementos confeccionados, além de proporcionar a fabricação sob demanda, com custo e tempo reduzidos. Tais benefícios tornam esse recurso um grande atrativo diferencial para a Engenharia Civil e Geotécnica (Gomez et al., 2019; Liu et al., 2021). Na literatura estrangeira, tem-se observado o constante crescimento do emprego da impressão 3D para a fabricação de rochas e materiais porosos com desempenho satisfatório em ensaios hidráulicos e mecânicos (Minges et al., 2023). No Brasil, iniciativas como as de Lopes (2022) têm abordado o uso de tecnologias digitais aplicadas ao ensino e à prática geotécnica, porém ainda são pouco expressivos os trabalhos focados na substituição parcial ou total de materiais laboratoriais por componentes impressos digitalmente.

Considerando as situações mencionadas, o presente trabalho propõe a elaboração de protótipos impressos em 3D compatíveis com pedras porosas originais, por meio de um modelo digital parametrizado programado no OpenSCAD, com o intuito de substituir as pedras convencionais em ensaios geotécnicos. O projeto tem em vista promover uma maior padronização, reprodutibilidade, economia e adaptabilidade, contribuindo com a modernização dos processos de experimentação geotécnica.

## 2 OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo geral desenvolver e validar tecnicamente pedras porosas confeccionadas por impressão 3D, aplicáveis a ensaios geotécnicos, como alternativa às pedras convencionais utilizadas em ambientes laboratoriais. Os objetivos específicos da pesquisa consistem na caracterização das propriedades físicas e mecânicas das pedras porosas tradicionalmente empregadas em ensaios geotécnicos, seguida do desenvolvimento de um modelo digital paramétrico em código aberto utilizando o software OpenSCAD, bem como na fabricação de protótipos físicos por meio da impressão 3D com diferentes parâmetros. Posteriormente, será realizada a avaliação do desempenho dos protótipos em ensaios de permeabilidade e, por fim, a comparação dos resultados obtidos com aqueles referentes às pedras convencionais, a fim de verificar sua confiabilidade.

## 3 METODOLOGIA

O desenvolvimento da pesquisa foi estruturado em quatro etapas: a) caracterização das pedras convencionais; b) Modelagem paramétrica em OpenSCAD; c) Impressão e produção dos protótipos; e; d) Ensaios de validação.

Para a idealização do problema, uma pedra porosa utilizada em ensaio de cisalhamento direto foi selecionada como referência, de forma a buscar a criação de uma réplica da pedra nos quesitos mais

importantes para emprego no ensaio. Foram obtidas as dimensões da pedra, a textura, a porosidade e os materiais empregados na sua fabricação. Um teste de permeabilidade da pedra porosa está previsto, o qual será realizado através do ensaio de permeabilidade de carga constante. Essas informações servirão e servirão como norte para o desenvolvimento e validação do modelo impresso, visando uma replicação fiel das propriedades indispensáveis para o desempenho do elemento drenante.

Para a criação do modelo foi utilizado o software OpenSCAD (Figura 1), o qual permite a geração de modelos tridimensionais a partir de comandos em forma de código, como uma linguagem de programação. Com base nos resultados obtidos através da etapa de caracterização, foi elaborado um modelo digital configurável. A modelagem abrange variáveis que permitem a adaptação das dimensões (altura, largura, comprimento e diâmetro) e formato da pedra porosa (cúbica, cilíndrica), assim como a da porosidade, possibilitando a adequação da pedra ao ensaio desejado. O modelo será estruturado de forma modular e documentada, visando facilitar a sua replicação e modificação por outros usuários.

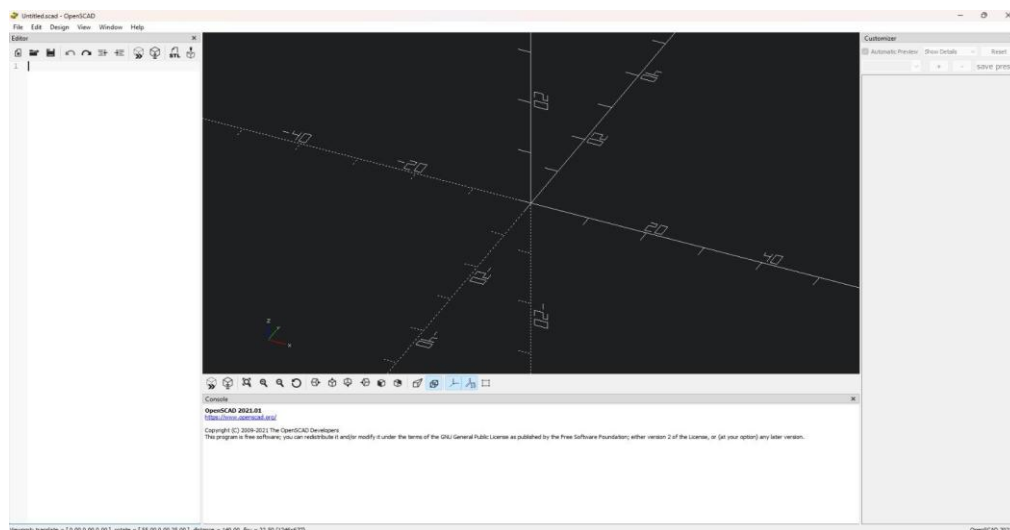


Figura 1. Interface OpenSCAD.

Na sequência o modelo digital foi convertido para um formato compatível com a impressora 3D disponível, uma Ender 3 S1 Plus, utilizando o software Prusa Slicer. A produção dos protótipos foi realizada com ABS por apresentar boa resistência química e possuir baixo custo no mercado.

Após a impressão dos protótipos, estes foram comparados às pedras porosas reais, analisando-os quanto a replicabilidade dos parâmetros supracitados, excluindo-se neste momento a permeabilidade, a qual será verificada posteriormente. A etapa conclusiva terá como foco a validação dos modelos impressos com as aplicações às quais as pedras são destinadas, como ensaios de permeabilidade e adensamento. Os resultados obtidos serão comparados com os referentes às pedras convencionais utilizadas de modo a verificar a viabilidade do emprego proposto.

### 3 RESULTADOS ESPERADOS

Por se tratar de um trabalho em andamento, alguns resultados já foram obtidos e outros estão por ser realizados. Na Figura 2 está ilustrado um exemplo da modelagem de uma pedra porosa para emprego em ensaio de cisalhamento direto, com 5 cm de largura, 5 cm de comprimento e 0,90 cm de altura, modelada no software OpenSCAD com o código desenvolvido neste trabalho.

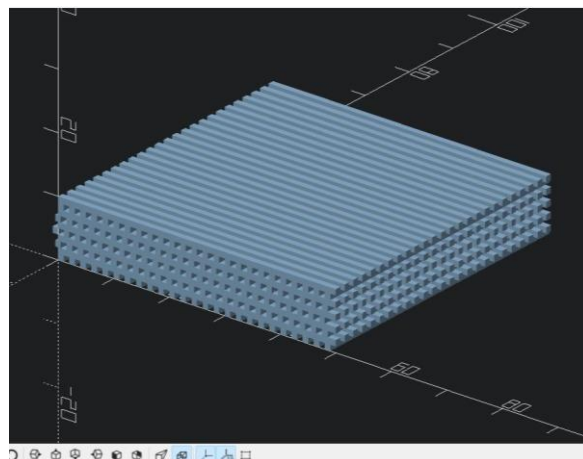


Figura 2. Modelagem da Pedra Porosa no software OpenSCAD.

A impressão em 3D do modelo digital previamente desenvolvido resultou na fabricação da pedra porosa apresentada nas Figuras 3 e 4. O processo possibilitou a obtenção de uma estrutura porosa com potencial para aplicação em ensaios laboratoriais, conforme os parâmetros definidos no modelo digital.

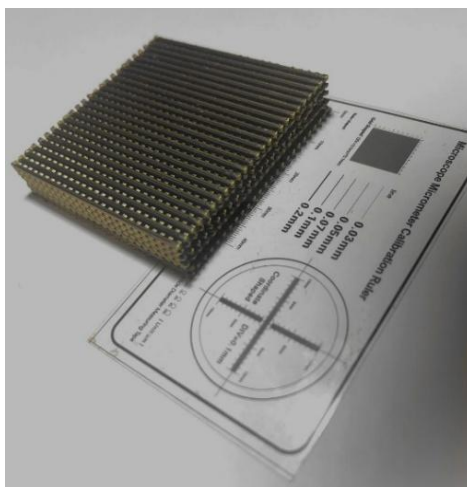


Figura 3. Pedra Porosa gerada via impressão 3D.

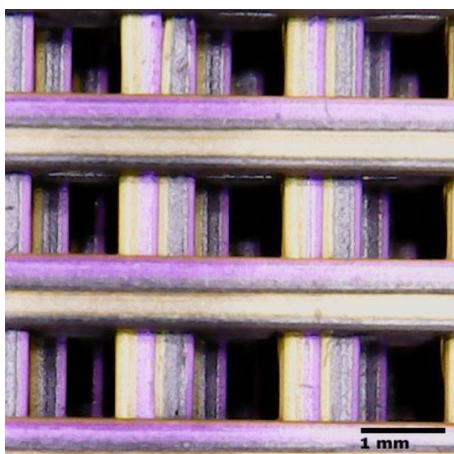


Figura 4. Imagem microscópica da Pedra Porosa.



Assim, espera-se que este trabalho possa proporcionar um processo simplificado de geração de pedras porosas para ensaios geotécnicos com a possibilidade de adaptação a diferentes necessidades e redução significativa de custos e tempo de produção.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos às agências de fomento, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro, em especial pela concessão das bolsas que viabilizaram a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gomez, C.; Townsend, M.; Pyles, D. (2019). 3D printing of rock analogs for geoscience applications. *Transport in Porous Media*, 129(2), p. 495–516. Disponível em : <<https://doi.org/10.1007/s11242-018-1177-0>>.
- Head, K. H. (1994). *Manual of Soil Laboratory Testing: Volume II – Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests*. John Wiley & Sons.
- Lambe, T. W.; Whitman, R. V. (1969). *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons.
- Liu, H.; Zhang, Y.; Li, X. (2021). 3D printing in geotechnical engineering: A review. *Construction and Building Materials*, 276, 122215. Disponível em : <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122215>>.
- Lopes, T. F. (2022). Aplicações de impressão 3D em laboratório didático de geotecnia: relato de experiência. In: *Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE*. ABENGE.
- Minges, M.; Alimohammadi, M.; Pahlavan, L. (2023). Additive Manufacturing of Porous Materials for Geotechnical Applications. *Applied Sciences*, 14(1), 344. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/app14010344>>.