# Utilização de rocha vulcânica do grupo serra geral para substituição parcial ao cimento Portland

Use of volcanic rock from the serra geral group for partial replacement of Portland cement

**Alice Helena Meinhart**
Universidade Feevale | Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul | alicehmei@gmail.com

**Cleyton Machado Borges**
Universidade Feevale | Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul | cleytonmborges@hotmail.com

**Daiana Cristina Metz Arnold**
Universidade Feevale | Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul | daim@feevale.br

**Resumo**

*Buscando por elementos naturais, cujo processamento não necessite de queima e/ou descarbonatação, e que possam substituir de forma parcial o cimento Portland, parte-se do objeto de estudo desta pesquisa: analisar uma rocha vulcânica do Grupo Serra Geral como substituição parcial ao cimento Portland, utilizando parâmetros físicos da NBR 12653 (ABNT, 2015). Coletada na Serra Gaúcha, a rocha selecionada passou por processo de cominuição e seguiu para avaliação de finura, índice de atividade pozolânica e desempenho à compressão. A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que a rocha analisada atendeu ao requisito de finura e resistência à compressão, sendo que as argamassas contendo substituição de 25% do cimento por pó de rocha não se diferem estatisticamente do desempenho à compressão obtido pela amostra de referência, sem pó de rocha. Portanto, com relação à indústria cimentícia, benefícios poderão ser alcançados com a redução da produção do cimento Portland, através da substituição parcial por cimentícios suplementares, como a rocha analisada neste estudo.*

**Palavras-chave:** Pó de rocha; Substituição parcial do cimento Portland; Argamassas; Desempenho à compressão.

**ABSTRACT**

*In the search for natural elements that do not require burning and/or decarbonation and can partially replace Portland cement, the aim of this research is to analyze a volcanic rock from the Serra Geral Group as a partial replacement for Portland cement, using physical parameters from NBR 12653 (ABNT, 2015). Collected in Serra Gaúcha, the selected rock underwent a comminution process and was then evaluated for fineness, pozzolanic activity index, and compressive performance. Based on the results obtained, it can be concluded that the analyzed rock met the requirements for fineness and compressive strength, and that mortars containing 25% replacement of cement by rock powder do not differ statistically from the compressive performance obtained by the reference sample without rock powder. Therefore, with regard to the cement industry, benefits may be achieved by reducing the production of Portland cement through partial replacement by supplementary cementitious materials, such as the rock analyzed in this study.*

**Keywords:** Rock powder; Partial replacement of Portland cement; Mortars; Compressive performance.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das divisões da indústria de materiais e serviços que mais gera impactos ambientais, com destaque para a indústria cimentícia devido ao grande volume de matéria-prima extraídas de jazidas naturais ou emissão de poluentes na atmosfera, principalmente o $CO_2$ (dióxido de carbono), um dos principais gases do efeito estufa (Uzal, Turanli & Mehta, 2007; Wansom, Janjaturaphan & Sinthupinyo, 2009; Malhotra, 2010; Qiao *et al.*, 2019; Adesina, 2020). Segundo *Battelle Memorial Institute* (2002), 50% da emissão de $CO_2$ na indústria do cimento é proveniente do processo de descarbonatação do calcário, 40% referente à combustão no forno, 5% no transporte das matérias-primas e 5% referente à eletricidade. À vista disso, é crucial minimizar os impactos ambientais advindos da produção do clínquer, buscando materiais alternativos para reduzir emissões de $CO_2$ e preservação dos depósitos calcários à medida que substitui uma porcentagem do clínquer Portland no produto final.

Na busca por materiais naturais que possam atuar como substituição, Montanheiro *et al.* (2011) evidenciam o potencial de algumas unidades geológicas, com destaque ao Grupo Serra Geral (GSG), que cobre grande extensão do Sul do país. O GSG possui afloramentos com presença de vidros vulcânicos, formados a partir da rápida consolidação do magma com pouca cristalização, principalmente, ao norte do Rio Grande do Sul (Andrade *et al.*, 2018; Koppe, 2021). Metaestáveis, estes vidros vulcânicos caracterizam-se por possuir alto teor de sílica, matriz vítrea, fratura conchoidal e, quando íntegros, apresentam-se reativos, podendo ser utilizados como substituição parcial do cimento Portland (Andrade *et al.*, 2018).

Diante do exposto, visando a redução do consumo de cimento, o presente artigo analisou a substituição parcial do cimento por pó de rocha a partir dos requisitos físicos da NBR 12653 (ABNT, 2015). A rocha utilizada no programa experimental foi determinada após revisão bibliográfica detalhada sobre áreas de vulcanismo ácido na região sul do Brasil, selecionando locais que contenham rochas potenciais para o estudo (vítreas e com alto teor de sílica), avaliando composição química e mineralógica. Ao contrário do clínquer, a rocha vulcânica em questão não necessita de processo de queima, portanto, entende-se que a mesma possa ser utilizada como material alternativo menos poluente que o insumo base do cimento. As rochas foram doadas por mineradora da Serra Gaúcha – consideradas, pela empresa, um material residual indesejado, não servindo ao propósito comercial do local (produção de agregado graúdo para construção civil).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra selecionada trata-se de uma rocha vulcânica de caráter ácido pertencente ao GSG, tratada inicialmente como *pichtstone* (brecha vítrea), segundo concepção de Koppe (2021). A composição química da rocha em análise foi verificada através de Fluorescência de Raios-X (FRX).

O processo de beneficiamento da rocha teve início em campo, sendo a extração realizada manualmente, com uso de talhadeira e martelo. No laboratório, as amostras foram lavadas para remoção de possíveis contaminantes e secas em estufa por 24 h na temperatura ± 100 °C. Após, foram reduzidas com auxílio de marreta, britador de mandíbulas de pequena escala, moinho de discos e moinho de bolas, especificamente nesta ordem. Ao sair do moinho de bolas, o material foi segregado em peneira de abertura de malha 45 µm de forma manual, exercendo força mecânica com auxílio de um pincel, sendo o material passante reservado e seco em estufa a 100 ± 5 °C por 24 h. Ao ser retirado da estufa, o material passou 24 h no dessecador para arrefecer e, enfim, reservado em embalagens herméticas. Sendo assim, o processo de cominuição deu-se por finalizado.

Para produção das argamassas, além da rocha, foi utilizado agregado miúdo padronizado (areia normal), beneficiada e fornecida pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) em conformidade com a NBR 7214 (ABNT, 2015). O cimento utilizado foi o CP V-ARI, conforme indicado por Meinhart *et al.* (2023), em adaptação a NBR 5752 (ABNT, 2014). Ademais, foi necessário água potável e hidróxido de cálcio com teor de pureza 95%. A massa específica do cimento, hidróxido de cálcio e pó de rocha foram determinadas a partir da NBR 16605 (ABNT, 2017), resultando em 3,06 g/cm³, 2,55 g/cm³ e 2,54 g/cm³, respectivamente.

Para avaliar a substituição do cimento pelo pó de rocha, foram verificados os requisitos físicos da NBR 12653 (ABNT, 2015): material retido na peneira 45 µm, segundo a NBR 15894-3 (ABNT, 2010); desempenho à compressão com argamassa aos 28 dias, segundo a NBR 5752 (ABNT, 2014); e, atividade pozolânica com cal aos 7 dias (IAP), de acordo com NBR 5751 (ABNT, 2015). Como o material utilizado no programa experimental já é passante na peneira de 45 µm, optou-se por não reproduzir o ensaio da NBR 15894-3 (ABNT, 2010).

Seguindo a NBR 5752 (ABNT, 2014), foi substituído 25% do cimento pelo pó de rocha, sendo a relação água/aglomerante constante, ou seja, em princípio, considerou-se aglomerante a soma da massa de cimento Portland e do pó de rocha. A mistura dos materiais, moldagem dos corpos de prova, condições de cura e determinação da carga de ruptura à compressão foram reproduzidas de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2025), em corpos de prova cilíndricos (50 X 100 mm) rompidos no 28º dia de cura. Foram rompidos 18 corpos de prova da argamassa REF (argamassa de referência, sem pó de rocha) e mais 18 corpos de prova da argamassa 25% ROCHA (contendo substituição de 25% do cimento pelo pó de rocha). A determinação do índice de atividade pozolânica com cal descrito pela NBR 5751 (ABNT, 2015) requer que a argamassa produzida contenha uma parte, em massa, de hidróxido de cálcio e outra do material que se deseja analisar, correspondendo ao dobro do volume do $Ca(OH)_2$. A moldagem, cura e determinação da carga de ruptura à compressão (aos 7 dias) seguiu o estabelecido pela NBR 5751 (ABNT, 2015) e NBR 7215 (ABNT, 2025), realizada em duplicidade. O valor adotado como resistência final foi a média da resistência à compressão dos resultados individuais obtidos dos corpos de prova, conforme normativa.

A abordagem dos resultados foi realizada tanto de forma qualitativa quanto de forma quantitativa comparativa, a partir da abordagem estatística não paramétrica Mann-Whitney, utilizando o software SPSS 25.0.

## 3 RESULTADOS

A composição química da rocha demonstrou o que era esperado, elevada quantidade de sílica, sendo considerada rocha de caráter ácido. São os maiores óxidos encontrados na amostra: 64,954% de $SiO_2$; 13,980% de $Al_2O_3$; 7,585% de $Fe_2O_3$; 4,614 de CaO; 2,526% de $K_2O$; 1,102% de $TiO_2$; 1,015% de MgO; 0,609% de $P_2O_5$; 0,167% de Cl; e 3,06% de perda ao fogo. Sendo assim, segundo classificação da NBR 12653 (ABNT, 2015), a rocha foi considerada "Classe N", que compreende pozolanas naturais e artificiais, materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, argilas calcinadas e cherts siliciosos. O Quadro 1 contempla os resultados obtidos pela presente pesquisa em comparação com os requisitos físicos da normativa.

**Quadro 1:** Requisitos físicos - comparação entre resultados obtidos e valores normatizados conforme Classe "N"

| PROPRIEDADE AVALIADA | VALORES DE REFERÊNCIA PARA CLASSE "N" SEGUNDO A NBR 12653 (ABNT, 2015) | RESULTADOS OBTIDOS | ATENDIMENTO AOS REQUISITOS E RESPECTIVOS VALORES DE REFERÊNCIA |
|---|---|---|---|
| Material retido na peneira 45 µm (%) | < 20% | 0% | Atendeu ao valor de referência |
| IAP - Atividade pozolânica com cal aos 7 dias (MPa) | ≥ 6 MPa | 0,38 MPa | Não atendeu ao valor de referência |
| Desempenho à compressão aos 28 dias (%) | ≥ 90% | 94,08% | Atendeu ao valor de referência |

**Fonte**: autores (2025)

Conforme descrito na metodologia, não há material retido na peneira, visto que, para esse programa experimental, foi utilizado somente rocha beneficiada passante na peneira de abertura de malha de 45 µm. Portanto, todas as amostras ensaiadas atendem ao requisito da NBR 12653 (ABNT, 2015). Quanto ao ensaio IAP, comparado ao valor mínimo de 6 MPa estipulado pela NBR 12653 (ANBT, 2015), a rocha apresentou resultado 93,67% inferior ao requisito mínimo normatizado. Dossena *et al.* (2019) e Montanheiro *et al.* (2011) analisaram IAP de basaltos e traquidacitos vítreos, respectivamente, e também obtiveram resultados inferiores aos 6 MPa da norma. Meinhart *et al.* (2023) sugerem revisão da NBR 5751 (ABNT, 2015) devido a variação da qualidade da cal e quantidade de água de amassamento.

Os valores médios obtidos para resistência à compressão nas argamassas REF resultaram em 33,26 MPa e 31,29 MPa para as argamassas 25% ROCHA. Comparando o valor médio resultante, sendo o valor da significância igual a 0,154 aceita-se a hipótese nula, ou seja, pode-se afirmar que REF e 25% ROCHA não diferem em relação à resistência à compressão. Sendo assim, para classe N, o desempenho à compressão da argamassa com substituição deve ser equivalente a 90% do resultado atingido pela média dos resultados de REF, o que ocorreu para as argamassas 25% ROCHA, superando o valor mínimo requerido pela norma.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A amostra ROCHA 25% atendeu a dois requisitos da NBR 12653 (ABNT, 2015), material retido na peneira 45 µm e desempenho à compressão com argamassa aos 28 dias, segundo a NBR 5752 (ABNT, 2014). Desse ponto, poderia ser utilizada para substituir o cimento sem prejuízo ao desempenho a compressão. Quanto ao IAP, deve-se atentar ao fato de que o índice de consistência é preestabelecido pela norma, o que causa interferência na demanda de água e pode ocasionar alteração no desempenho à compressão, o que prejudica uma comparação simplificada entre os resultados. Apesar da NBR 5752 (ABNT, 2014) não citar a possibilidade de ensaiar outros teores além dos 25% de substituição, analisando de forma crítica e apelo ambiental, a partir da necessidade evidente de diminuir a emissão de $CO_2$, infere-se flexibilidade ao limite estipulado pela norma, visando materiais alternativos que possam contribuir mesmo que em quantidades menores de substituição. Pensando em pequena escala, por suposto, substituir 5% ou 10% em massa do cimento Portland pode parecer irrelevante, porém, analisando quantidade de $CO_2$ emitido pela indústria do cimento, qualquer redução das emissões já seria benéfica.

## REFERÊNCIAS


ADESINA, Adeyemi. Recent advances in the concrete industry to reduce its carbon dioxide emissions. **Environmental Challenges**, v. 1, n. 100004, 2020. DOI:10.1016/j.envc.2020.100004. Acesso em: 30 nov. 2024.

ANDRADE, Fábio Ramos Dias de; POLO, Liza; JANASI, Valdecir de Assis; CARVALHO, Flavio Machado de Souza. Volcanic glass in Cretaceous dacites and rhyolites of the Paraná Magmatic Province, Southern Brazil: Characterization and quantification by XRD-Rietveld. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 355, 2018. DOI:10.1016/j.jvolgeores.2017.08.008. Acesso em: 21 nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5751**: Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento - Especificação. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2025.

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 15894**: Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta - Parte 3: Determinação da finura por meio da peneira 45 µm. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C618/2019**: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. DOI:10.1520/C0618-19.

BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE. Toward a Sustainable Cement Industry – Substudy 8: Climate Change. Battelle – The Business of Innovation. **WBCSD – World Business Council for Sustainable Development**, 2002. Disponível em: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20269589>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DOSSENA, Matheus Henrique; BEVILAQUA, Diogo; SILVA, Luciano Luiz; FIORI, Márcio Antônio; BATISTON, Eduardo Roberto; MELLO, Josiane Maria Muneron de. Evaluation of Mechanical Properties of Sealing Mortar with Partial Replacement of Portland Cement by Stone Crusher Waste. **Materials Research**, v. 22, 9 p., 2019. DOI:10.1590/1980-5373-MR-2018-0868. Acesso em: 20 nov. 2024.

KOPPE, Angélica. **Verificação do potencial de ativação alcalina de rochas vulcânicas ácidas: um estudo de desempenho mecânico e caracterização do ligante**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2021. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/10367>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MALHOTRA, V Mohan. Global warming, and role of supplementary cementing materials and superplasticisers in reducing greenhouse gas emissions from the manufacturing of portland cement. **International Journal of Structural Engineering**, v. 1, n. 2, 2010. DOI:10.1504/IJSTRUCTE.2010.031480. Acesso em: 21 nov. 2024.

MEINHART, Alice Helena; BORGES, Cleyton Machado.; ARNOLD, Daiana Cristina Metz. Characterization of rock from Serra Geral Group as nutritional supplement for soils. **UNIGOU Training 2024**. Disponível em: <http://www.incbac.org/wp-content/uploads/2024/10/UNIGOU-Training-Publication-2024-Alice-Helena-Meinhart.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MEINHART, Alice Helena; MACEDO, Rodrigo Brunetti; GUTERRES, Tayná Thomaz; ARNOLD, Daiana Cristina Metz. Análise do potencial de uso do fíler basáltico como substituição parcial do cimento Portland. **Ambiente Construído**, v. 23, n. 4, 2023. DOI: 10.1590/s1678-86212023000400697. Acesso em: 21 nov. 2024.

MONTANHEIRO, Tarcísio José; NEGRI, Francisco de Assis; JANASI, Valdecir de Assis; YAMAMOTO, Jorge Kazuo; VOGADO, Fabiana Pereira. Vidro vulcânico maciço: pozolana natural no oeste paulista. **Geologia USP**. Série Científica, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 59–74, 2011. DOI:10.5327/Z1519-874X2011000100004. Acesso em: 18 nov. 2024.

QIAO, Hongxia; NDAHIRWA, Désiré; LI, Yuanke; LIANG, Jinke. The Feasibility of Basalt Rock Powder and Superfine Sand as Partial Replacement Materials for Portland Cement and Artificial Sand in Cement Mortar. **Research and Application of Materials Science**, v. 1, n. 1, 2019. DOI: 10.33142/msra.v1i1.665. Acesso em: 20 nov. 2024.

UZAL, Burak; TURANLI, Lutfullah; MEHTA, Povindar Kumar. High-volume natural pozzolan concrete for structural applications. **ACI Materials Journal**, v. 104, n. 5. DOI:10.14359/18910. Acesso em: 05 dez. 2024.

WANSOM, Supaparon; JANJATURAPHAN, Sirirat; SINTHUPINYO, Sakprayut. Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash: Comparison of Various Electrical Methods. **Journal of Metals, Materials and Minerals**, v. 19, n. 2, 2009. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2017.06.051. Acesso em: 04 dez. 2024.