

7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

APROVEITAMENTO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM CONCRETO PARA BLOCOS INTERTRAVADOS: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.VII-006>

Larissa Santana Batista (*), Cícero Feliipe Diniz De Santana, Edilene Lopes Da Silva, Isadora Possidônio Angelo, Ranyelly Wellen Florentino de Oliveira.

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campus Pombal-PB

larissa.santana@professor.ufcg.edu.br

RESUMO

A atividade mineradora envolve a extração de minerais dos solos e das formações rochosas que compõem a estrutura terrestre, sendo uma das atividades econômicas mais relevantes, tanto no Brasil quanto em todo o mundo, tendo em vista que através dessa extração, são produzidos produtos e materiais para o consumo humano. No entanto, é crucial ressaltar que essa prática frequentemente causa danos significativos ao meio ambiente. Este trabalho foi realizado com objetivo de avaliar uma forma sustentável de utilização dos Resíduos de Rochas Ornamentais Britado (ROB) como agregado miúdo na fabricação de concreto para produção de blocos intertravados. Para obtenção dos dados foram realizados ensaios para verificar eficiência, observando a caracterização física dos agregados, bem como resistência a compressão e absorção dos blocos. Na fase da caracterização dos agregados, o resíduo de mineração mostrou-se viável como substituto nos materiais do concreto, apresentando características físicas e químicas satisfatórias. Em relação aos ensaios mecânicos e de absorção utilizando o ROB como agregado miúdo, os blocos atingiram RCS média de 46,47 MPa e absorção média de 4,09%. Concluindo-se que este trabalho apresentou resultados satisfatórios pois o resíduo apresentou ser utilizável e resistência acima do que é requerido na NBR 9781 (ABNT, 2013), com isso este resíduo, dentro do que foi analisado, oferece como opção de fabricação de concreto sustentável e econômico para a construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento sustentável; Extração mineral; Concreto.

ABSTRACT

The mining activity involves the extraction of minerals from the soil and rock formations that make up the terrain's structure, being one of the most relevant economic activities, both in Brazil and around the world, considering that through this extraction, products and materials are produced for the human consumption. However, it is crucial to highlight that this practice often causes significant damage to the environment. This work was carried out with the objective of evaluating a sustainable way of using Crushed Ornamental Rock Waste (ROC) as fine aggregate in the manufacture of concrete for the production of interlocking blocks. To obtain the data, tests were carried out to verify efficiency, observing the physical characterization of the aggregates, as well as the compression and absorption resistance of the blocks. In the aggregate characterization phase, mining residue proved to be viable as a substitute for concrete materials, presenting satisfactory physical and chemical characteristics. In relation to mechanical and absorption tests using ROB as fine aggregate, the blocks achieved an average RCS of 46.47 MPa and an average absorption of 4.09%. Concluding that this work presented satisfactory results as the residue was usable and had resistance above that required in NBR 9781 (ABNT, 2013), therefore this residue, within what was analyzed, offers an option for manufacturing sustainable concrete. and economical for civil construction.

KEY WORDS: Sustainable development; Mineral extraction; Concrete.

INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2023) a mineração compreende uma atividade econômica e industrial que consiste na pesquisa, exploração, lavra (extração) e beneficiamento de minérios presentes no subsolo. Essa atividade gera emprego, diversos produtos e recursos utilizados pelo homem que são provenientes dessa atividade, como computadores, cosméticos, estradas, estruturas metálicas, entre outros. Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2023), a indústria de mineração no primeiro semestre de 2023 teve um desempenho superior ao do primeiro semestre de 2022, gerando grandes volumes e massas de materiais extraídos e movimentados.



Por outro lado, a quantidade de resíduos gerada depende do processo utilizado para extração do minério, da concentração da substância mineral estocada na rocha matriz e da localização da jazida em relação à superfície (IPEA, 2012). Sem uma gestão de resíduos sólidos adequada, os rejeitos podem provocar riscos e impactos ambientais, como poluição dos recursos hídricos, contaminação do solo, e outros.

O setor de rochas ornamentais produz toneladas de resíduos anualmente durante seus processos de beneficiamento, e reintegrar esses resíduos na cadeia produtiva traz uma alternativa para amenizar os impactos gerados pela indústria (ARAUJO & DOURADO, 2019; BÓSSO, 2021).

É nesse sentido que o aproveitamento de resíduos de mineração apresenta-se como solução viável perante as necessidades de alguns processos produtivos dos setores industriais, pois pode viabilizar a conservação da qualidade, gerando produtos novos com características semelhantes ou produtos distintos e adequados do ponto de vista ambiental. Dentre as aplicações para os resíduos da mineração está o seu uso para a fabricação de concretos, seja como adição e/ou substituição, colaborando com a sustentabilidade, uma vez que os rejeitos, em sua grande parte, são armazenados em locais ambientalmente inadequados (BATISTA, 2022).

Diante da intensa extração dessas rochas, este estudo investiga a inclusão de resíduos provenientes de Rochas Ornamentais de Material Britado (ROB), descartados por fábricas e mineradoras, como agregado miúdo na produção de concreto para blocos intertravados. A iniciativa visa promover uma aplicação sustentável desses resíduos na indústria da construção.

OBJETIVOS

Avaliar o comportamento físico e mecânico de blocos intertravados a partir da inserção do ROB como substituição do agregado miúdo em blocos de concreto.

METODOLOGIA

Os materiais utilizados foram: cimento CP V ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial); água de abastecimento público fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA); o agregado graúdo foi a brita granítica com dimensão nominal de 9,5mm, também conhecida comercialmente como brita 0 (zero), com granulometria dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2019); os agregados miúdos foram compostos pelos convencionais, areia, pó de pedra, bem como pelo resíduo de rochas ornamentais de material britado (ROB).

Para a realização dessa pesquisa considerou a sequência seguinte:

- 1) Seleção e caracterização dos materiais:** obtenção, coleta e preparação das amostras para a caracterização física e química dos agregados miúdos (areia, pó de pedra e ROB) e a caracterização física do agregado graúdo (brita 0) e do aglomerante.
- 2) Definição dos traços de concreto:** Com base nos resultados da caracterização dos materiais, foi calculado o traço do concreto convencional – CONV (sem inserção de resíduo) e realizada nova proporção em substituição dos agregados convencionais em sua totalidade pelo ROB.
- 3) Moldagem dos blocos intertravados:** os corpos de prova foram moldados em fôrmas retangulares de PVC com dimensões de 20 cm x 10 cm x 6 cm, como mostra na **Figura 1** e foram produzidos para obtenção de parâmetros de RCS e absorção. Os materiais foram misturados em betoneira e em seguida despejados nos moldes devidamente limpos e com desmoldante e adensados em uma mesa vibratória. Após 24h foi realizado o capeamento (pasta de cimento) para melhor regularização das faces assim diminuir falhas na prensa ao romper os *paver*, conforme a **Figura 2**. Em seguida, os blocos ficaram em cura submersa durante 28 dias.



Figura 1: Fôrmas retangulares em PVC utilizada nas moldagens. Fonte: Autor do Trabalho.



Figura 2: Peças com acabamento da face superior. Fonte: Autor do Trabalho.

4) **Caracterização dos blocos intertravados:** Após a cura, os blocos foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão simples e absorção, conforme preconizado pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013).

RESULTADOS

Inicialmente foi realizado a caracterização física do aglomerante. Os ensaios seguiram todas as normas pertinentes, com os resultados documentados na **Tabela 1**, estando em conformidade com os parâmetros estabelecidos.

Tabela 1. Índice de finura e massa específica do cimento CP V ARI. Fonte: Batista (2022).

Ensaio	Valor Obtido
Módulo de Finura	0,86%
Massa Específica	3,04 g/cm ³
Tempo início de pega da argamassa fresca	1h 45min
Tempo fim de pega da argamassa fresca	4h 07min

Já para o agregado miúdo, foi feito o ensaio de granulometria, a análise da curva granulométrica, módulo de finura e dimensão máxima dos agregados que influencia o comportamento do concreto em trabalhabilidade, relação água/cimento, absorção e índice de vazios. A **Figura 3** ilustra as curvas granulométricas dos agregados naturais e do resíduo.

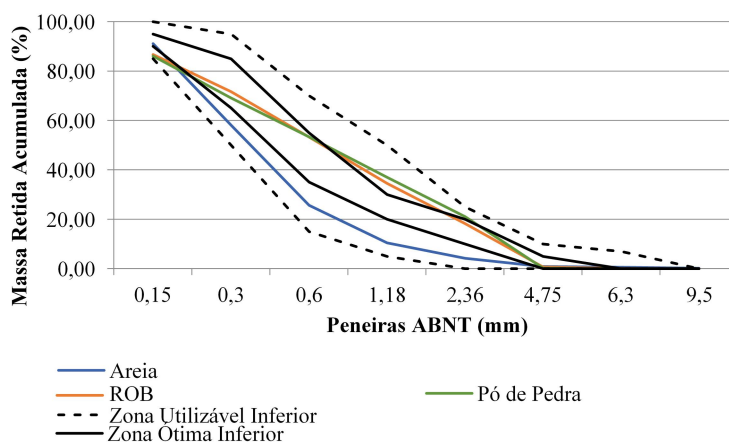
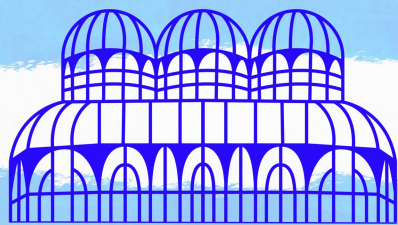


Figura 3: Curvas granulométricas dos agregados miúdos. Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Os valores do módulo de finura dos agregados miúdos revelaram diferentes parâmetros para areia, pó de pedra e ROB. A areia possui um módulo de finura de 1,90, enquanto o pó de pedra apresentou um valor mais elevado de 2,67, e o ROB registra um valor de 2,65. Quanto ao diâmetro máximo, a areia possui 2,36 mm, o pó de pedra e o ROB ambos têm 4,75 mm. A análise revelou que maiores módulos de finura correspondem a partículas maiores. Conforme a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003), pó de pedra e ROB estão na zona ótima, enquanto a areia está na zona utilizável inferior.

Percebeu-se que o ROB se enquadrou dentro dos limites das zonas utilizáveis (inferior e superior), portanto, foi considerado apto para a utilização como agregado miúdo, tornando-se viável na substituição da areia e do pó de pedra pelo resíduo estudado, levando em consideração a análise granulométrica.

A observação das curvas granulométricas apresentadas possibilitou conhecer o módulo de finura e o diâmetro máximo de cada agregado analisado, detalhados na **Tabela 2**.

Tabela 2. Parâmetros físicos dos agregados miúdos. Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Ensaio	Areia	Pó de Pedra	ROB
Massa específica real (g/cm ³)	2,42	2,58	2,51
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,40	2,56	2,47
Massa unitária compactada (g/cm ³)	1,54	1,68	1,53
Índice de Vazios estado compactado	35,78	29,83	38,85
Absorção (%)	0,60	0,80	0,24
Teor de Material Pulverulento (%)	4,39%	8,03%	7,52%

Através da **Tabela 2**, foi possível verificar que os teores de materiais pulverulentos nesta pesquisa ficaram abaixo de 8%, considerados baixos e incapazes de causar problemas de fissuração por retração, devido à presença reduzida de finos segundo orientações da norma.

Também foi realizado o ensaio de granulometria dos agregados graúdos, observando se estes estavam aptos para realização da pesquisa. A **Figura 4** mostra as curvas granulométricas resultantes do ensaio realizados da brita utilizada.

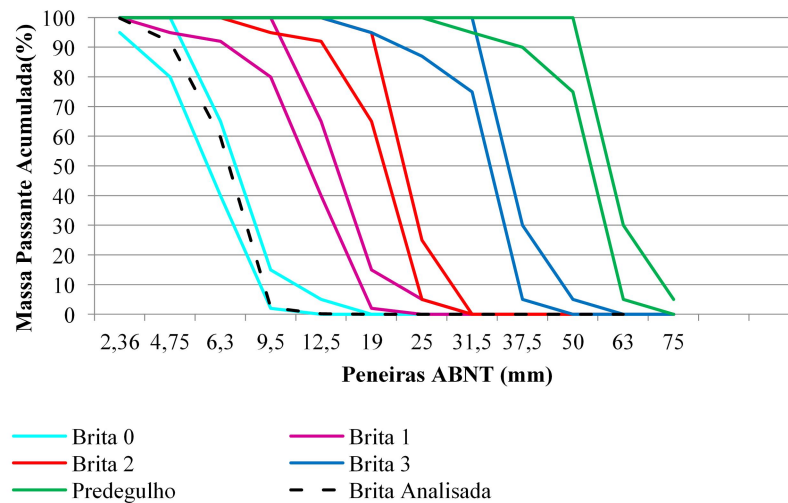


Figura 4: Curva granulométrica do agregado graúdo. Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Como mostrado na **Figura 4**, é possível admitir que a brita analisada encontra-se dentro da zona limite de classificação de brita 0. Portanto, o agregado graúdo empregado na pesquisa satisfaz os limites de distribuição granulométrica impostos pela NBR 7211 (ABNT, 2009). Na **Tabela 3**, encontram-se os dados obtidos a partir da caracterização física da brita 0.

Tabela 3. Parâmetros físicos do agregado graúdo. Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Ensaio	Brita 0
Massa Esp. Agregado Seco	2,73
Massa Esp. Agregado Sat Sup Seca	2,69
Massa Esp. Aparente	2,67
Massa unitária compactada (g/cm ³)	1,72
Massa unitária compactada (g/cm ³)	1,83
Índice de Vazios estado compactado	99,93
Absorção (%)	0,76
Abrasão Los Angeles (%)	40,1

Pode-se observar na **Tabela 3** que a absorção da brita analisada é 0,76%, primordial para realizar a correção da água constituinte, para que a água de amassamento determinada durante o cálculo da dosagem não seja absorvida, alterando a relação água/cimento e prejudicando a trabalhabilidade do concreto. O material utilizado apresentou elevado índice de vazios estado compactado, possuindo um bom arranjo entre seus grãos.

Na caracterização química, a análise de Difração de Raios-X (DRX) das amostras de ROB, identificaram-se picos principais de óxido de silício (quartzo) e carbonato de cálcio (calcita). Os óxidos de silício estavam cristalizados e não contribuíram para as reações durante o período de cura do concreto. A presença de óxido de cálcio e óxido de ferro (CaO e Fe₂O₃) na amostra de ROB originam-se principalmente da granalha e da cal utilizada como abrasivo no processo de beneficiamento de granito.

Diante dos resultados das caracterizações, foi calculado o traço dos concretos com base na RCS a ser alcançada sendo uma propriedade importante e requeridas no concreto. Para o pavimento intertravado esta propriedade determina qual uso é apropriado conforme a solicitação de tráfego prevista, a mesma também é referência na maioria das normas nacionais e internacionais como um dos principais parâmetros de avaliação do desempenho dos *pavers*. Desta forma, o traço foi calculado para o limite de RCS mínima de 35 MPa, conforme requerido pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013), que determina para que os componentes possam ser empregados em demandas para trânsito de pedestres e veículos leves. Portanto, o traço utilizado nesta pesquisa foi (1:2:2:0,45) para moldagem dos blocos intertravados e análise da RCS e absorção.

A **Figura 5**, apresenta os resultados de RCS dos blocos convencionais e com inserção do ROB.

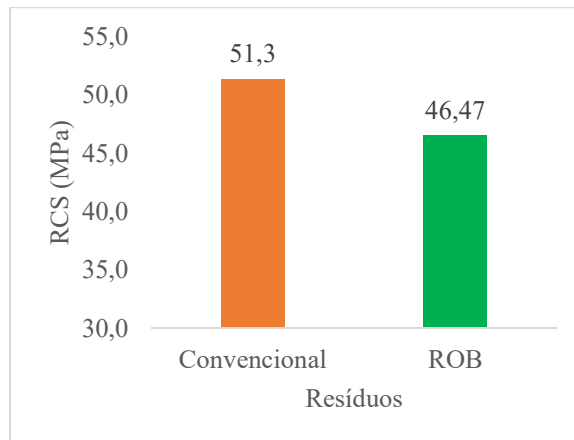


Figura 5: RCS dos pavers convencionais e dos blocos com ROB. Fonte: Dados da pesquisa (2022).

De acordo com a **Figura 5**, os blocos com inserção dos resíduos se apresentaram satisfatórios quanto a análise da resistência à compressão, conforme exigido pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013), que estabelece o limite de resistência mínima de 35 MPa para que as peças possam ser utilizadas em solicitações para passagem de pedestres e veículos leves. Observa-se ainda que a resistência do ROB ficou 9,41% abaixo quando comparado com o RCS do traço convencional, sem comprometer a estrutura do bloco e a resistência requerida em norma.

Após a análise da RCS, foi realizado o ensaio de absorção de água dos pavers, sendo um importante parâmetro, especialmente para aplicação em áreas úmidas, em que as peças estarão sujeitas ao acelerado processo de eflorescência, por exemplo. Com relação aos percentuais máximos admitidos, o valor de controle utilizado pela NBR 9781 (ABNT, 2013) é de 6% de absorção na média, não sendo admitido nenhum valor individual superior a 7%. Foi verificado que a absorção média dos blocos CONV foi de 3,75%, sendo satisfatório conforme exigido pela Norma. Usou-se esses valores para comparar os resultados obtidos do concreto com ROB, mostrado na **Tabela 5**.

Tabela 5. Absorção para o percentual do resíduo de ROB. Fonte: Dados da pesquisa (2022).

ABSORÇÃO			
M1	M2	Absorção (%)	Abm (%)
2508,30	2614,60	4,24	
2454,00	2556,20	4,16	4,09
2510,40	2607,40	3,86	

Com base na **Tabela 5**, percebeu-se que as amostras de peças de concreto apresentaram absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 %, com nenhum valor individual maior do que 7 %, estando aptos à utilização em pavers. Contrastando com os dados obtidos no CONV, a absorção foi maior, comportamento este que pode justificar a diminuição da RCS, com maior número de poros e menor agregação e densificação das partículas.

CONCLUSÃO

Partindo da caracterização dos agregados, o resíduo da mineração estudado apresentou comportamentos semelhantes para utilização no concreto como agregado miúdo em substituição aos materiais convencionais.

Diante do ensaio de compressão e absorção de água, verificou-se que o resíduo de ROB pode ser substituído com relação aos agregados miúdos convencionais pois apresentou resultados satisfatórios em relação as propriedades analisadas. De acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013), os pavers com este resíduo pode ser utilizado para o tráfego leve.



Adotando esse agregado na fabricação de forma sustentável, reduzirá impactos ambientais provocados por o acúmulo desse resíduo e, melhorará a gestão de resíduos sólidos nas mineradoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BATISTA, L. S. **Efeitos da incorporação de resíduos da mineração nas propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade em pavimentos intertravados**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.
2. BÓSSO, A. R. S. A. et. al., **Utilização de resíduos de serragem de rochas ornamentais na fabricação de peças intertravadas de concreto**. Revista Humanidades e Inovação v.8, n.50. 2021.
3. INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Mineração amplia faturamento e recolhimento de tributos em 6% no 1º semestre**. Disponível em: <https://ibram.org.br/release/mineracao-amplia-faturamento-e-recolhimento-de-tributos-em-6-no-1o-semester/>. Acesso em: 28 de março de 2024.
4. INSTITUTO DE PESQUISA ECONOMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas**. Relatório de Pesquisa. Disponível em https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7702/1/RP_Diagn%C3%B3stico_2012.pdf. Acesso: 28 de março de 2024.
5. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Mineração. **Exploração Mineral**. Disponível em <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/exploracao-mineral>. Acesso: 28 de março de 2024.
6. SANCHES, Djalma Luiz *et al.* **Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo**. [S. l.], 17 maio 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000100016>. Acesso em: 25 mar. 2024.
7. MILANEZ, Bruno. **Mineração, Ambiente E Sociedade: Impactos Complexos E Simplificação Da Legislação**. INSTITUTO DE PESQUISA ECONOMICA APLICADA - IPEA, [S. l.], p. 1-10, 16 jun. 2017. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/poemas/files/2014/07/Milanez-2017-Minera%C3%A7%C3%A3o-ambiente-e-sociedade.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2024.
8. PENA, Rodolfo. **Impactos ambientais da Mineração**. [S. l.], 2 jun. 2018. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/impactos-ambientais-mineracao.htm>. Acesso em: 3 abr. 2024.