

# 7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano  
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

## BLOCOS DE INTERTRAVADOS PRODUZIDOS COM RESÍDUO DO PÓ DE QUARTZO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.VII-007>

Larissa Santana Batista (\*), Cícero Fellipe 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](mailto:larissa.santana@professor.ufcg.edu.br)

### RESUMO

A mineração no Brasil é dos setores que mais polui o meio ambiente, por outro lado é um dos setores que mais contribui economicamente e socialmente. Neste trabalho, objetiva-se avaliar as características físicas e mecânicas dos blocos intertravados, com a substituição dos agregados miúdos convencionais para os resíduos do pó de quartzo para a produção de concreto usados para pavimentos intertravados. Inicialmente, realizou-se os ensaios de caracterização física, química e mineralógica dos agregados miúdos, agregados graúdos, resíduo estudado e do aglomerante, conforme as normas ABNT recomendam. Em seguida, executou-se o estudo do traço convencional, que serviu de base para comparação parcial do resíduo de acordo com os resultados de RCS. Através dos resultados obtidos foi possível verificar que o uso do resíduo do pó de quartzo teve o comportamento semelhante aos agregados miúdos padrões e com parâmetros que as normativas exigem para o seu uso em traços para *pavers*, considerados satisfatórios para a resistência à compressão, superior ao exigido, apresentando viabilidade técnica e econômica para o concreto. A utilização deste resíduo poderá, portanto, contribuir ambientalmente com seu uso para a utilização em pavimentos intertravados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pavimento intertravados. Resíduos. Resistência.

### ABSTRACT

Mining in Brazil is one of the sectors that most pollutes the environment, on the other hand it is one of the sectors that contributes the most economically and socially. In this work, the objective is to evaluate the physical and mechanical characteristics of interlocking blocks, with the replacement of conventional fine aggregates for quartz powder residues for the production of concrete used for interlocking pavements. Initially, physical, chemical and mineralogical characterization tests were carried out on fine aggregates, coarse aggregates, the studied residue and the binder, as recommended by ABNT standards. Then, the conventional trace study was carried out, which served as a basis for partial comparison of the residue according to the RCS results. Through the results obtained, it was possible to verify that the use of quartz powder residue had similar behavior to standard fine aggregates and with parameters that regulations require for its use in paver mixes, considered satisfactory for compressive strength, superior to required, presenting technical and economic viability for concrete. The use of this waste could, therefore, contribute environmentally with its use in interlocking pavements.

**KEY WORDS:** Interlocking pavement. Waste. Resistance.

### INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade de extrema importância para diversos setores industriais, fornecendo matérias-primas essenciais para a fabricação de uma variedade de produtos. Conforme destacado por Andrade (2019), é evidente que, mesmo quando observadas dentro dos limites estabelecidos pela legislação, as operações de mineração continuam a provocar consideráveis impactos ao ambiente. Os resíduos resultantes dessas atividades ocupam extensas áreas, resultando em poluição visual, perturbação sonora, emissão de partículas e prejuízos à saúde.

Além dos impactos ambientais diretos causados pelas operações de mineração, é importante ressaltar também os efeitos indiretos e sistêmicos que permeiam toda a cadeia produtiva. Desde a degradação do solo e da vegetação até a contaminação de recursos hídricos e a perda de biodiversidade, os danos ocasionados por essa atividade podem ser identificados em diferentes ecossistemas e comunidades ao redor do mundo. Diante desse panorama, a busca por



alternativas que promovam a sustentabilidade e a mitigação desses impactos se torna ainda mais premente (LEAL, 2018; LEITE, 2018).

Nesse cenário, o aproveitamento de resíduos da mineração, como o pó de quartzo, surge como uma solução promissora para atender às demandas de certos processos industriais. O pó de quartzo pode ser considerado um recurso, cujo a utilização, não apenas contribui para a preservação da qualidade ambiental, mas também oferece a possibilidade de desenvolvimento de novos produtos com propriedades comparáveis ou mesmo superiores aos materiais convencionais (BATISTA, 2022). Tal abordagem não apenas preserva a qualidade, mas também abre caminho para a criação de novos produtos com características comparáveis ou distintas, alinhadas a preservação ambiental (CARVALHO, 2018; JÚNIOR, 2018).

## OBJETIVOS

Este trabalho, portanto, visa analisar a inclusão de resíduos de pó de Quartzo no concreto, com o objetivo de aprimorar ou preservar suas propriedades físicas e mecânicas. A estratégia proposta possui uma perspectiva promissora para a utilização desse material como uma alternativa viável na produção de blocos intertravados destinados à pavimentação.

## METODOLOGIA

Para a fabricação do concreto usado nos blocos intertravados, foram necessários a utilização de alguns materiais como: cimento, agregado, agregado graúdo e agregado miúdo, bem como o resíduo do pó de quartzo. A seguir, estão descritos cada um desses materiais.

**Cimento:** o cimento escolhido para a confecção do concreto dos *pavers* foi o Cimento Portland de Alta Resistência (CP V ARI), que tem a função de aglomerante, com composição de 5% de material carbonático, 5% de gesso e os outros 0% são de clínquer.

**Agregado Graúdo:** a brita utilizada para a confecção do concreto foi a de 9,5 mm, comercializada como sendo a Brita 0. Foi utilizada como concreto graúdo e passou pelo ensaio de granulometria de acordo com a normativa da NBR 7211 (ABNT, 2019). O material usado foi adquirido no município de Campina Grande -PB.

**Agregados Miúdos:** a areia e o pó de pedra foram utilizados como o agregado miúdo convencional e o resíduo do pó de quartzo como material alternativo com o intuito de substituir a areia e pó de pedra. Os agregados convencionais foram adquiridos no comércio local da cidade de Campina Grande, sendo utilizados resíduos provenientes do beneficiamento do quartzo, extraídos da cidade de Parelhas-RN.

Na metodologia desenvolvida na pesquisa, inicialmente, procedeu-se à coleta dos agregados e em seguida, foram conduzidos ensaios para caracterização física tanto do agregado miúdo (composto por areia, pó de pedra e quartzo) quanto do agregado graúdo (brita 0). No que diz respeito ao aglomerante (cimento), testes realizados determinaram massa específica, módulo de finura e tempo de pega da argamassa fresca. Em seguida, foram moldados blocos de concreto convencionais (sem a inserção do resíduo) e blocos com a substituição total da areia e do pó de pedra pelo resíduo. Subseqüentemente à cura submersa dos blocos, deu-se início aos ensaios de resistência à compressão e absorção para determinar a robustez dos blocos.

Na caracterização do cimento (aglomerante) foram realizados os ensaios descritos no **Quadro 1**.

**Quadro 1. Ensaios do aglomerante e as respectivas normas utilizadas. Fonte: Autor do Trabalho.**

Aglomerante	ENSAIO		NORMA	
		Massa específica		NBR 11513/2017
		Módulo de finura		NBR 11579/2012
		Tempo de pega da argamassa fresca		NBR NM 65/2003

Para realizar a caracterização dos agregados foi dividida em agregado miúdos agregado graúdo. Na caracterização física dos agregados miúdos (areia, pó de pedra e resíduo do pó de quartzo) foram utilizados os ensaios descritos no **Quadro 2**, de acordo com suas respectivas normas.

**Quadro 2. Ensaios dos agregados miúdos e as respectivas normas utilizadas. Fonte: Autor do Trabalho.**

Caracterização Física dos agregados miúdos	ENSAIO	NORMA
	Granulometria: finura e dimensão máxima	
Massa unitária: estado solto e compactado		NBR NM 45/2006
Absorção de água		NBR NM 30/2001
Material pulverulento		NBR NM 46/2003
Massa específica do agregado seco; Massa específica SSS; Massa Específica.		NBR NM 53/2009

Para a caracterização dos agregados graúdos (brita 0) foram utilizados os ensaios especificados no **Quadro 03**.

**Quadro 3. Ensaios do agregado graúdo e as respectivas normas utilizadas. Fonte: Autor do Trabalho.**

Caracterização física dos agregados graúdos	ENSAIO	NORMA
	Granulometria: módulo de finura e dimensão máxima	
Massa unitária: estado solto e compactado		NBR NM 45/2006
Absorção de água		NBR NM 30/2001
Massa específica do agregado seco; Massa específica SSS; Massa Específica.		NBR NM 53/2009
Abrásão Los Angeles		NBR NM 51/2001

Com base nos resultados da caracterização dos materiais, foram calculados os traços de concreto convencional (CONV), sem a inclusão de resíduos, e os traços de concreto modificados, nos quais os agregados miúdos convencionais foram substituídos em toda a sua totalidade pelo resíduo do pó de quartzo.

Para a fabricação dos blocos, os materiais foram misturados em betoneira e despejados nos moldes limpos, utilizando desmoldante, e posteriormente foram adensados em uma mesa vibratória. Após 24 horas, foi realizado o capeamento com pasta de cimento para regularizar as faces dos blocos, reduzindo assim as falhas durante o processo de prensagem, como mostrado na **Figura 1**.

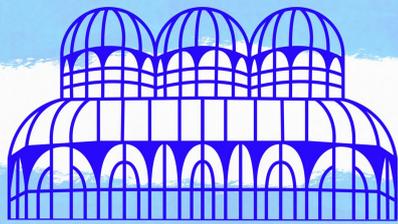


**Figura 1: Fôrmas retangulares em PVC utilizada nas moldagens. Fonte: Autor do Trabalho (2022).**

Logo após completar 24 horas do capeamento das peças, elas foram submetidas a cura por imersão em água em tanque durante 28 dias para posteriormente serem submetidas ao ensaio de RCS e absorção, como ilustra a **Figura 2**.



**Figura 2: Peças em cura submersa. Fonte: Autor do Trabalho (2022).**



Após a cura as peças foram submetidas aos ensaio de Resistência à Compressão Simples (RCS) obtida conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013), dividindo-se a carga de ruptura, pela área de carregamento, multiplicando-se o resultado pelo fator p, em função da altura da peça. A **Figura 3** mostra o ensaio RCS no *paver*.



**Figura 3: Ensaio de resistência à compressão. Fonte: Autor do Trabalho (2022).**

Ainda conforme a norma NBR 9781 (ABNT, 2013), a absorção de água, é o incremento de massa do corpo sólido com poros provenientes da penetração de água na sua parte permeável, em relação a massa seca. Para o ensaio, primeiramente foram colocados os blocos intertravados imersos em água a temperatura de  $23 \pm 5$  °C durante 24 horas. Posteriormente, retirou-se os blocos imersos e secou-os com um pano úmido e pesou-os. Repetindo esse processo a cada 2 horas, até chegar em um resultado que a diferença de massa não fosse superior a 0,5% ao valor anterior. Logo após, as peças foram colocadas na estufa por 24 horas, e retirou-as e foram pesadas e repetiu-se o processo a cada 2 horas até que a diferença de massa não fosse maior do que 0,50% em relação ao valor anterior, conforme **Figura 4**



**Figura 4: Determinação da absorção de água dos pavers. Fonte: Autor do Trabalho (2022).**

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na caracterização do aglomerante, todos os ensaios foram conduzidos, e os valores correspondentes a cada teste estão apresentados na **Tabela 1**.

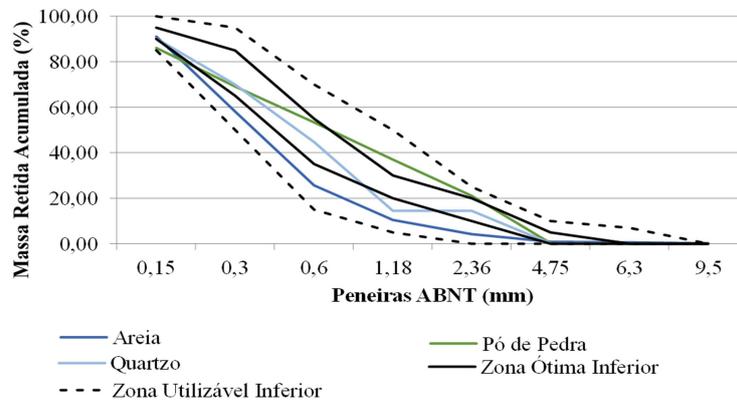
**Tabela 1. Índice de finura e massa específica do cimento CP V ARI. Fonte: Autor do Trabalho.**

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

Conforme apresentado na **Tabela 1**, todos os ensaios foram bem-sucedidos, em conformidade com as exigências estabelecidas pela NBR 11513 (ABNT, 1990).

Para a caracterização dos agregados miúdos, no ensaio de granulometria, foram identificados os comportamentos da curva granulométrica, bem como determinados o módulo de finura e a dimensão máxima dos agregados, conforme

evidenciado na **Figura 5**. A massa retida acumulada do material investigado, atuando como agregado miúdo, concentrou-se dentro dos limites inferiores e superiores das zonas utilizáveis. Dessa forma, o material pôde ser considerado como adequado para utilização de acordo com a norma referenciada no estudo.



**Figura 5: Curvas granulométricas dos agregados miúdos. Fonte: Autor do Trabalho (2022).**

Assim como para as curvas granulométricas apresentadas, também foi possível conhecer o módulo de finura e o diâmetro máximo do agregado analisado, conforme observado no **Quadro 4**.

**Quadro 4. Ensaios dos agregados miúdos. Fonte: Autor do Trabalho.**

Agregado/Parâmetro	Areia	Pó de Pedra	Pó de Quartzo
Módulo de finura	1,9	2,67	2,61
Diâmetro Máximo	2,36	4,75	4,75

Ao observar o **Quadro 4**, foi possível constatar que quanto maior era o módulo de finura, maiores eram suas partículas. O pó de Quartzo se enquadrou na zona ótima, pois, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003) estabelece, o agregado miúdo com módulo de finura entre 2,20 e 2,90 situava-se na zona ótima, entre 1,55 e 2,20 na zona utilizável inferior e entre 2,90 e 3,50 na zona utilizável superior, o que aprova seu uso no traço no quesito da granulometria.

Na **Tabela 2**, foram identificados os demais parâmetros físicos dos agregados miúdos.

**Tabela 2. Parâmetros físicos dos agregados miúdos. Fonte: Autor do Trabalho.**

Ensaio	Areia	Pó de Pedra	Pó de Quartzito
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	2,42	2,58	2,9
Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,4	2,57	2,24
Massa unitária compactada (g/cm <sup>3</sup> )	1,54	1,58	1,45
Índice de Vazios Estado compactado	35,78	39,27	39,23
Absorção (%)	60	1,07	0,41
Teor de Material Pulverulento (%)	4,39	1,24	3,86

Com relação a caracterização física dos agregados graúdos, na **Tabela 3**, estão apresentados os dados obtidos para a caracterização física da brita 0. Observou-se que a absorção da brita foi de 0,76%, sendo essencial para a correção da água constituinte, evitando assim que a água de amassamento na dosagem fosse absorvida e alterasse a relação água/cimento.

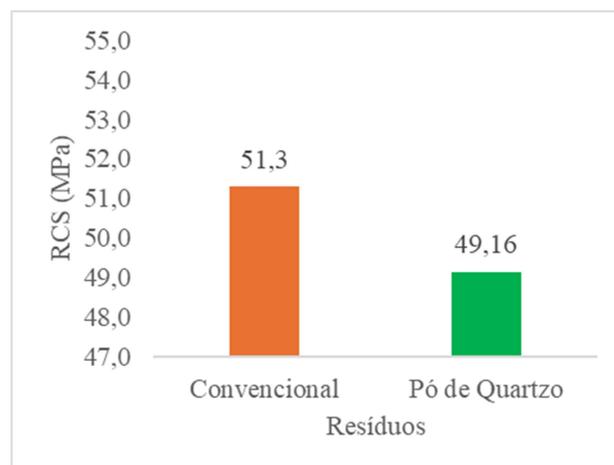
**Tabela 3. Parâmetros físicos do agregado graúdo. Fonte: Autor do Trabalho.**

Ensaio	Brita 0
Massa Esp. Agregado Seco	,73
Massa Esp. Agregado Sat Sup Seca	,69

Ensaio	rita 0
Massa Esp. Aparente	,67
Massa unitária compactada (g/cm <sup>3</sup> )	,72
Massa unitária compactada (g/cm <sup>3</sup> )	,83
Índice de Vazios Estado compactado	9,93
Absorção (%)	,76
Abrasão Los Angeles (%)	0,1

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. Essa propriedade foi crucial no estudo do pavimento intertravado, pois determinou o uso ao qual o pavimento seria destinado, de acordo com a solicitação de tráfego prevista. Essa característica foi referenciada na maioria das normas nacionais e internacionais como um dos principais parâmetros para avaliar o 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.

De acordo com a **Figura 6**, os blocos com inserção dos resíduos se apresentaram satisfatórios quando da 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, o resíduo com pó de quartzo teve cerca de 50 MPa de resistência à compressão, portanto o resíduo poderá ser substituído como agregado miúdo no uso do traço.



**Figura 6: RCS dos *pavers* convencionais e dos blocos com resíduo. Fonte: Autor do Trabalho (2022).**

A resistência do pó de quartzo ficou 4,17% abaixo quando comparado com o RCS do traço convencional.

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 o pó de quartzo, mostrado na **Tabela 04**.

**Tabela 4. Absorção dos blocos com inserção do resíduo do pó de quartzo. Fonte: Autor do Trabalho.**

ABSORÇÃO			
M1	M2	Absorção (%)	Abméd (%)
2525,80	2626,50	3,99	3,86
2525,60	2625,20	3,94	
2512,70	2604,30	3,65	

Na **Tabela 4**, observa-se que as amostras de peças de concreto apresentam valores de absorção média de água menor que 6% não ultrapassando 7%, sendo aptos à utilização em *pavers*. Analisando os resultados e comparando-as as normas internacionais estudadas, os *pavers* de quartzito poderiam ser utilizados em todas as localidades.

## CONCLUSÕES

Os resultados da caracterização dos agregados indicaram que o resíduo de quartzo da mineração possui características adequadas para a utilização como agregado miúdo no concreto, substituindo os materiais convencionais. Conforme especificado pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013), os *pavers* feitos com resíduos da mineração de quartzo podem ser usados em áreas de tráfego leve, pois todos os parâmetros necessários que os agregados miúdos convencionais possuem estão de acordo com as suas normativas, o pó de quartzo também apresentou tais características.

Considerando os resultados da pesquisa, conclui-se que utilizar os resíduos da mineração na produção de blocos intertravados é tecnicamente e ambientalmente viável, contribuindo para a sustentabilidade de diminuição de extração dos recursos naturais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, S. S. F. et al. Análise da viabilidade da utilização de resíduos da mineração para fins de pavimentação com base na caracterização e avaliação mecânica. In: Congresso Sul Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2019, Foz do Iguaçu-PR.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP (2001). In: Palestra Pavimento Intertravado – MKT. São Paulo. 2001
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 11513: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1990.
4. \_\_\_\_\_. NBR NM 248: Concreto - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2003.
5. \_\_\_\_\_. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação: Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
6. 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.
7. CARVALHO, F A. Resíduo de mineração de quartzo como insumo para a construção civil com abordagem em sustentabilidade e saúde. Dissertação. 153f. Universidade Federal dos vales do Jequitinhonha e Mucuri, Centro de Tecnologia, Diamantina, 2018.
8. LEAL, C. E. F. **Peças para pavimento intertravado de concreto: estudo de viabilidade técnica na incorporação de agregado reciclado.** Dissertação. 153f. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2018.
9. LEITE, A. L. et al. **Atividade mineradora e impactos ambientais em uma empresa cearense.** Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física, v. 1. São Paulo. **Anais....** p. 7282-7286, 2018.
10. JÚNIOR, S. V. A et al. Utilização de Resíduos de Quartzito para Aplicação em Pavimentos Intertravados. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 13, n. 3, p. 196- 200. 2018.