

## Utilização de Resíduos de Quartzito para Aplicação em Pavimentos Intertravados

C. M. D. Júnior<sup>1</sup>, S. V. A. Barros<sup>1</sup>, G. A. Neves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Engenharia de Materiais - UFCG - Av. Aprígio Veloso, 882, CEP 58.429-900, Campina Grande-PB

(Recebido em 11/01/2019; aceito em 12/02/2019)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo:

O quartzito e seus resíduos vêm sendo estudado como um substituto adequado para os materiais convencionais da construção civil. Estudos mostram propriedades mecânicas aceitáveis em concretos produzidos com o quartzito substituindo um ou mais agregados. Com a degradação ambiental avançando rapidamente no município de Várzea-PB, a busca por soluções no reaproveitamento dos resíduos da exploração do quartzito na região, cresceram significativamente. O presente trabalho estuda a utilização de resíduos de quartzito para aplicação no revestimento de pavimentos intertravados. O quartzito foi separado aleatoriamente dentre os resíduos da jazida, em seguida beneficiado por britagem e moagem. Após beneficiamento, foi realizada caracterização química, física e mineralógica como também observada a resistência dos corpos de prova. Os resultados evidenciaram que os resíduos de quartzito apresentaram propriedades adequadas para uso nesses pavimentos. Os resultados de resistência mecânica mostraram que os blocos apresentaram propriedades adequadas para serem utilizadas em calçadas de tráfego de pedestres.

**Palavras-chave:** Quartzito; resíduo; pavimento intertravado; pré-moldado; concreto

### Abstract:

Quartzite and its residues have been studied as a suitable substitute for conventional building materials. Studies show acceptable mechanical properties in concrete produced with quartzite replacing one or more aggregates. With the environmental degradation rapidly advancing in the municipality of Várzea-PB, the search for solutions in the reutilization of the residues of the quartzite exploration in the region, grew significantly. The present work studies the use of quartzite residues for application in the lining of interlocked pavements. The quartzite was randomly separated from the residue of the deposit, then benefited by crushing and milling. After processing, chemical, physical and mineralogical characterization was performed, as well as the resistance of the test specimens. The results showed that the quartzite residues presented adequate properties for use in these floors. The results of mechanical resistance showed that the blocks had adequate properties to be used on pedestrian traffic sidewalks

**Keywords:** Quartzite; residue; interlocked floor; pre-molded; concrete

### Introdução

A exploração mineral no Brasil se intensifica a cada ano e a construção civil é um dos setores que mais demanda esse aumento, onde está incluso o uso de rochas com caráter ornamental, contribuindo para esse crescimento. A cidade de Várzea - PB tem um grande respaldo em âmbito nacional na extração e beneficiamento primário do quartzito com caráter ornamental, onde o ciclo de produção do quartzito gera toneladas de resíduos que podem ser reaproveitados em outros materiais [1,2]. O Brasil é destaque mundial na exportação de rochas ornamentais, figurando entre os maiores exportadores. A produção total de rochas ornamentais no Brasil, no ano de 2017, foi estimada em 9,24 milhões de toneladas, sendo 3,24 milhões de toneladas destinadas ao mercado externo, representando 35% do total produzido [3]. Com a produção em larga escala, cresce também a problemática ambiental envolvendo o descarte dos seus resíduos, exigindo urgência no desenvolvimento de novos materiais.

O quartzito é uma rocha metamórfica, com tendências coesivas, com estrutura cristalina densa e organizada, o que nos dá indícios que a sua aplicabilidade como agregados para o concreto é uma boa opção [4,5]. As peças pré-moldadas de concreto (PPC) são duráveis e rígidas e podem ser utilizadas para a construção de pavimentos intertravados, conhecidos pela sua boa estética, capacidade estrutural e integração com o meio ambiente. As peças de concreto formam o revestimento do pavimento, intertravadas entre si, possibilitando a transferência de carga devido ao atrito nas paredes laterais do conjunto peça-areia-peça. O concreto é o material mais utilizado na construção civil e tem contribuído para o avanço da civilização durante anos, porém essa atividade demanda uma quantidade significativa de recursos naturais no âmbito da produção de cimento e agregados [6-8].

A obtenção desses materiais lesa as fontes naturais criando problemas ambientais significativos, popularizando a pesquisa de agregados reciclados para

uso no concreto em todo o mundo [2, 9-11]. De forma notória a problemática do descarte dos resíduos de quartzito com a necessidade de agregados naturais do concreto, é possível desenvolver produtos com mais sustentabilidade e com semelhantes características aos já existentes no mercado [1,12]. Dessa maneira, este concreto produzido com agregados de materiais reciclados é conhecido como “recycled concrete aggregate” (RCA) e os resíduos de quartzito podem ser classificados como agregados naturais reaproveitados [12,13].

Os resíduos de quartzito gerados na cidade Várzea - PB, são derivados da serragem, corte e polimento dessas rochas, gerando fragmentos que passarão por um processo de britagem e moagem, além do pó que será incrementado como fração fina nas peças pré-moldadas. O pó da serragem gerado no processo industrial do quartzito representa cerca de 1% do seu volume [15-17].

Estudos analisaram a influência desses agregados nas propriedades do concreto para pavimentos em suas bases e sub-bases [18]. A viabilidade do uso dos resíduos de quartzito gerados em Minas Gerais foi avaliada como agregados em argamassas e peças pré-moldadas de concreto, os resultados mostraram a viabilidade do uso dos resíduos para essas funções [19]. O quartzito foi estudado e aceito como agregado em argamassas [20], porém esse estudo não mencionava a interação do quartzito como agregado no concreto com função estrutural em revestimentos de pavimentos, mais especificamente o pavimento intertravado. A crescente aplicação do pavimento intertravado no Brasil requer produtos mais sustentáveis no mercado, como alternativa ao pavimento produzido com concreto formado de agregados de brita e areia.

O objetivo deste trabalho consiste em produzir peças pré-moldadas de concreto, a partir da incorporação do resíduo de quartzito, oriundo da exploração de rochas ornamentais no município de Várzea – PB, analisando o decréscimo de resistência que esse material causa no concreto quando em comparação com os materiais convencionais.

### Materiais e Metodologia

Para esse estudo foram utilizados os materiais convencionais da construção civil na produção de concreto para peças pré-moldadas. Foi utilizada a brita de 9 mm de diâmetro, cimento CP II F 40 (Nassau®, Sociedade Brasileira de Cimento Portland) e areia. Os materiais alternativos são resíduos do beneficiamento de quartzito de Várzea – PB, provenientes de pó da serra (P1) e britagem do resíduo do corte de aparas de placas de quartzito (Q1). A metodologia do estudo consistiu em caracterizar os materiais convencionais para cálculo de dosagem (traço) ideal e após a escolha desse traço, confecção de mesa vibratória, moldagem e substituição de agregados para análise da resistência à compressão.

A caracterização física, mineralógica e ambiental foi realizada com material passando em peneira ABNT N°200 (0,074mm), em seguida os ensaios

por meios das seguintes técnicas: análise granulométrica (equipamento CILAS modelo 1064), análises químicas por fluorescência de raios X (EDX 720, Shimadzu), difração de raios X (equipamento XRD 6000 da Shimadzu). A caracterização ambiental dos resíduos de quartzito foi realizada segundo normas da ABNT NBR 10004, NBR 10005 e TCLP 1311 [21-23]. O equipamento utilizado foi Espectrofotômetro de Absorção Atômica da PerKin Elmer, modelo Analyst 200.

Para cálculo dos traços de referência e s alternativos incorporados com resíduos de quartzito, foi utilizado um programa experimental com objetivo alcançar a melhor escolha de uma sucessão de misturas (traços) que visam o alcance da resistência exigida pela norma da ABNT, e os maiores teores resíduos incorporados para que resulte um equilíbrio entre o consumo baixo de cimento. Os traços convencionais e alternativos incorporados com resíduos foram realizados por adensamento em mesa vibratória para concreto. Um estudo comparativo com blocos de referência foi efetuado para que se atenda a resistência à compressão exigida na norma da ABNT NBR 9781 [24], que regula sobre peças de concreto para pavimentação, especificação e métodos de ensaio. Os resíduos de quartzito substituiu areia e a brita no concreto feito com cimento Portland.

As composições dos traços convencionais e alternativos em massa incorporados com resíduos de quartzitos estão contidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Composições dos traços convencionais e alternativos incorporados com resíduos de quartzitos em quilogramas.

Composição	Cimento	Areia	Resíduo (P1)	Brita (9mm)	Resíduo (Q1 moído)	Resíduo (Q1 9mm)
M1	6	12,48	-	7,92	-	-
M2	6	-	-	7,92	12,48	-
M3	6	12,48	-	-	-	7,92
M4	6	-	-	-	12,48	7,92
M5*	6	-	1,24	-	11,23	7,92
M6*	6	11,23	1,24	7,92	-	-

M5\* Substituição da areia e brita da composição M1, sendo a areia 10% P1 e 90% Q1

M6 \* Composição conforme M1, sendo a areia 10% P1 e 90% areia convencional

- Ausente

### Resultado e Discussão

Na Tabela 2 estão contidos os valores da composição química dos resíduos de quartzitos obtidos por Fluorescências de Raios X.

Analisando os valores da Tabela 2, verifica-se que os resíduos apresentaram valores elevados de superiores SiO<sub>2</sub> Superiores a 70% proveniente do quartzito. Teor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 10% para o resíduo P1 e 18,0% para o resíduo Q1, oriundo provavelmente da

mica e do feldspato. Teores de CaO e MgO provavelmente oriunda da dolomita e K<sub>2</sub>O proveniente do feldspato. Esses resultados estão de acordo com os padrões de DRX Figura 1.

Tabela 2 - Composição química dos resíduos de quartzitos obtido pela fluorescência de raios X.

Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O(%)	CaO (%)	MgO(%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SO <sub>2</sub> (%)	BaO(%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Outros(%)
Q1	70,0	18,0	6,7	1,0	1,6	1,7	0,3	0,4	0,2	0,0
P1	78,0	11,0	4,6	2,0	1,7	1,3	1,2	0,2	0,2	0,1

A Figura 1 ilustra os padrões de DRX da amostra Q1 e P1.

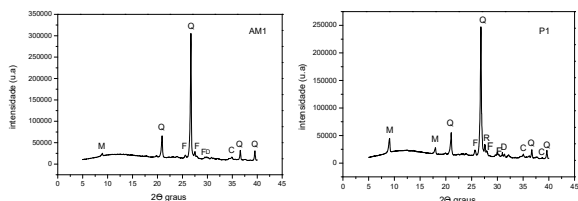


Figura 1 - DRX para as amostras Q1 e P1. M - Mica; Q – quartzo; F - Feldspato; C – Carbonato de cálcio; D - Dolomite.

Observou-se que as amostras estudadas apresentaram as seguintes composições mineralógicas: mica (JCPDS: 83-1808), quartzo (JCPDS:46-1045), feldspato (JCPDS:89-8574), carbonato de cálcio (JCPDS: 05-0586), dolomite (JCPDS: 89-5862). Para composição da amostra P1 todas as fases cristalinas, além do microclina (JCPDS: 19-0932), que é um feldspato potássico. No geral, os espectros da difração de raios X confirmaram qualitativamente que as amostras apresentaram curvas típicas dos materiais residuais do município de Várzea no estado da Paraíba e com outros minerais acessórios, sendo similares aos estudos realizados anteriormente [1,25]. Todas as amostras apresentaram quartzo em suas composições como também caulinita, comprovando os resultados da análise química.

A Tabela 3 ilustram os resultados da distribuição granulométrica das amostras dos resíduos de quartzitos Q1 e P1.

Tabela 3 - Fração volumétrica para diâmetros (D) abaixo de 2 µm, entre 2 e 20 µm e acima de 20 µm, para as amostras Q1 e P1.

Composição	D < 2µm (%)	2µm < D < 20 µm (%)	D > 20µm (%)
P1	97,35	0,31	2,33
Q1	1,27	98,36	0,35

Por meio dos resultados da Tabela 3, percebe-se que o resíduo de quartzito P1 apresenta de massa acumulada de 97,35% abaixo de D < 2 µm, este valor pode ser justificado por se tratar de um resíduo oriundo da serragem das placas de quartzito. No entanto, observa-se para o resíduo Q1 elevada percentagem de massa acumulada de (98,36%) entre (2 µm < D < 20 µm), esse resultado pode ser atribuído a origem do resíduo que foi

oriundos das aparas das chapas. Esses resultados comparados com dados da literatura conduzem a aplicação na produção de pavimentos conforme os estudos anteriores [1, 10,13,25].

A Tabela 4 os valores de lixiviação e solubilização dos resíduos de quartzitos estudados neste trabalho.

Tabela 4 - Valores determinados e teores máximos permitidos nos extratos lixiviado e solubilizado da areia de quartzito e do pó de quartzito

	Valor determinado no extrato lixiviado (mg/L)		Teores máximos permitidos <sup>a</sup>	Valor determinado no extrato solubilizado (mg/L)		Teores máximos permitido <sup>a</sup>
	QS	QP		QS	QP	
Al	4,84	39,70	0,20	4,70	0,20	0,20
As	29,8	38,50	5,00	19,80	26,70	0,01
Ba	0,45	1,20	70,00	0,37	0,08	0,70
Cd	0,13	0,01	0,50	0,135	<0,05	0,005
Cr	0,22	0,05	5,00	0,22	0,01	0,05
Cu	0,05	2,54	2,00	0,05	0,02	2,00
Fe	1,67	5,34	0,30	1,67	0,01	0,30
Ni	0,03	1,17	7,00	0,03	<0,01	0,07
Mn	1,47	3,87	0,40	1,46	0,01	0,10
Zn	0,23	0,53	5,00	0,19	0,02	5,00

<sup>a</sup> NBR 10004 (ABNT, 2004c)

Analisando os resultados da Tabela 4, verifica-se que os resíduos de quartzitos podem ser classificados com perigosos por ter valores Al e As no processo de lixiviação superiores aos permitidos pelas normas da ABNT NBR 10004 [21].

Na Tabela 5 estão contidos os valores de absorção de água de amassamento, fator de água aglomerante e resistência à compressão simples dos traços convencionais e incorporados com resíduos.

Tabela 5- Fator de água aglomerante, absorção de água de amassamento e resistência à compressão simples dos traços convencionais e alternativos.

Composições	Água adicionada inicialmente (kg)	Relação a/c	Água de amassamento (kg)	Relação a/c corrigida	RCS MPa
M1	2,64	0,44	0,46	0,52	25,696
M2	2,64	0,44	0,56	0,53	19,099
M3	2,64	0,44	0,46	0,52	20,478
M4	2,64	0,44	1,16	0,63	13,659
M5	2,64	0,44	0,86	0,58	15,424
M6	2,64	0,44	0,2	0,47	27,058

Observando os valores da Tabela 5, verifica-se que a incorporação de quartzito provoca uma constância da absorção da água nos concretos em todos os casos analisados. Este fenômeno ocorreu devido a ausência de interação química entre o resíduo e a matriz cimentícia, gerando aumento da porosidade do concreto e, por conseguinte, o aumento da absorção de água conforme o aumento do fator água/cimento. Este fato deve-se ao volume de vazios originários do excesso de água. Estudos anteriores apontaram que os concretos contendo teores de resíduos, nos níveis de substituição de 5% e 10%, não apresentaram variação significativa na absorção de água [27]. A capacidade de absorção de água dos concretos com teor de 15% foi superior ao obtido para o concreto de referência. Se a quantidade de água

utilizada for inferior à necessária não ocorrerá a hidratação completa do cimento. No entanto, se a quantidade de água for maior do que a necessária, após ocorrida toda a hidratação do cimento, a água excedente migra para a superfície do concreto, formando capilares em seu interior. As duas situações provocam perda da resistência mecânica. A absorção de água fornece uma medida de durabilidade das peças porque indiretamente aponta o volume de vazios existentes e, com isso, sua permeabilidade [26]. Diminuindo a permeabilidade da peça, conseqüentemente ocorrerá o aumento da sua resistência ao processo de eflorescência.

Em relação à resistência de compressão simples (tabela 5), observa-se um acréscimo nos valores de RCS em relação ao adicionamento do resíduo do pó da serra em pequenas quantidades, o mesmo não acontece ao se substituir em totalidade um agregado pelas aparas de quartzito britadas. É observado que a resistência do concreto é proveniente da resistência mecânica do agregado, e, também, da sua absorção e da sua aderência. Os agregados utilizados nessa pesquisa, apresentaram resistência maior quando substituídos em pequenas porcentagens ao agregado miúdo que era constituído de areia quartzosa. Há uma perda de resistência quando um agregado convencional é substituído em sua totalidade pelo quartzito. Outra fonte de enfraquecimento vem do fato de que o agregado pode conter falhas em sua estrutura, além de ser causador de micro fissuração na interface com a pasta de cimento.

### Conclusões

Após estudos com resíduos de quartzitos para uso em pavimentos intertravados pôde-se concluir que:

- A caracterização física-mineralógica dos resíduos de quartzitos apresentou propriedades adequadas para uso em pavimento intertravados;
- a caracterização ambiental classificou os resíduos como perigosos de acordo com as normas da ABNT;
- os blocos incorporados com resíduos de quartzito apresentaram resistência à compressão simples superior de 25 MPa, sendo o traço da mistura M6 a que obteve o melhor resultado.
- os blocos incorporados com resíduos de quartzito apresentaram resistência mecânica inferiores as especificações da norma ABNT que é de 35 MPa para pavimentos com tráfego de veículos.
- os blocos incorporados com resíduos de quartzitos apresentaram comportamento mecânico adequado para serem utilizadas em calçadas de tráfego de pedestres.
- o comportamento mecânico dos blocos incorporados com resíduos de quartzitos poderá ser elevado com a inclusão de aditivo plastificante para diminuição da água de amassamento adicionada nas misturas.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Tecnologia de Materiais (LTM-UFCG), Laboratório de Caracterização de Materiais (LCM-UFCG) e Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP-UFCG).

### Referências

- [1] Santos, D. A., Gurgel, M. T., Mota, A. F., & Paiva, F. Í. G. Extração mineral de quartzito e sua aplicabilidade na construção civil na cidade de várzea-PB. *HOLOS*, 4, 89-100, 2014.
- [2] Silva, F. M., Barbosa, L. A. G., Lintz, R. C. C., & Jacintho, A. E. P. Investigation on the properties of concrete tactile paving blocks made with recycled tire rubber. *Construction and Building Materials*, 91, 71-79, 2015.
- [3] ABIROCHAS. Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2017. Informe 01/2018. 2018.
- [4] Rezaifar, O., Hasanzadeh, M., & Gholhaki, M. Concrete made with hybrid blends of crumb rubber and metakaolin: Optimization using Response Surface Method. *Construction and building materials*, 123, 59-68, 2016.
- [5] Santos, V. R. F.; Silva, F. M.; Ribeiro, L. C. L.; Pires, M. S. G.; Lintz, R. C. C.; Gachet-Barbosa, L. A. Interlocking tactile concrete paver with addition of steel fibers. In: *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publ, p.253-256, 2014.
- [6] Angelin, A. F., Lintz, R. C. C., Gachet-Barbosa, L. A., & Osório, W. R. The effects of porosity on mechanical behavior and water absorption of an environmentally friendly cement mortar with recycled rubber. *Construction and Building Materials*, 151, 534-545, 2017.
- [7] LIMA, R. C. de O.; MELO, G. A.; CARVALHO, J. B.Q. Durabilidade de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduo de corte de granito. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 5, n. 2, 2010.
- [8] Silva, R. V., De Brito, J., & Dhir, R. K. Tensile strength behaviour of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 83, 108-118, 2015.
- [9] ÇAKIR, Ö. Experimental analysis of properties of recycled coarse aggregate (RCA) concrete with mineral additives. *Construction and Building Materials*, v. 68, p. 17-25, 2014.
- [10] Omary, S., Ghorbel, E., & Wardeh, G. Relationships between recycled concrete aggregates characteristics and recycled aggregates concretes properties. *Construction and Building Materials*, 108, 163-174, 2016.
- [11] SADEGHIFAR, Adel. SOHRABI, Mohammad Reza. Investigating the properties of mechanical concrete containing waste plastic bottles replaced instead rock material. In: *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research In Business*. Vol 5. Fev-2014.
- [12] Yang, J., Du, Q., & Bao, Y. Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1935-1945, 2011.

- [13] Gholampour, A., Gandomi, A. H., & Ozbakkaloglu, T. New formulations for mechanical properties of recycled aggregate concrete using gene expression programming. *Construction and Building Materials*, 130, 122-145, 2017.
- [14] Sagoe-Crentsil, K. K., Brown, T., & Taylor, A. H. Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. *Cement and concrete research*, 31(5), 707-712, 2001.
- [15] Bai, S. W., Zhang, J. S., & Wang, Z. A methodology for evaluating cleaner production in the stone processing industry: case study of a Shandong stone processing firm. *Journal of Cleaner Production*, 102, 461-476, 2015.
- [16] Mendoza, J. M. F., Capitano, C., Peri, G., Josa, A., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. Environmental management of granite slab production from an industrial ecology standpoint. *Journal of cleaner production*, 84, 619-628, 2014.
- [17] Torres, P., Manjate, R. S., Quaresma, S., Fernandes, H. R., & Ferreira, J. M. D. F. Development of ceramic floor tile compositions based on quartzite and granite sludges. *Journal of the European Ceramic Society*, 27(16), 4649-4655, 2007.
- [18] Gabr, A.; Mills, K.; Cameron, D. Repeated load triaxial testing of recycled concrete aggregate for pavement base construction. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 31, n. 1, p. 119-132, 2013.
- [19] Cabello, M. L.; Peres, A. E.; Martins, A. H.; Pereira, C. A. Use of Quartzite Quarries Wastes in Civil Construction. In: *Key Engineering Materials*, Trans Tech Publ, p.135-140, 2013.
- [20] Barros, S. V. A.; Marciano, J. E. A.; Ferreira, H. C.; Menezes, R. R.; NEVES, G. A. Addition of quartzite residues on mortars: Analysis of the alkali aggregate reaction and the mechanical behavior. *Construction and Building Materials*, v. 118, p. 344-351, 2016.
- [21] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004c.
- [22] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10005: Procedimento para obtenção extrato de lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004a.
- [23] US EPA. TCPL 1311: test methods for evaluating solid waste, toxicity characteristics leaching procedure. Physical/Chemical methods. SW -846, 1992.
- [24] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. ABNT, 2013.
- [25] Neto, S. F., Silva, T. T. S., & Dos Santos, J. S. Impactos ambientais causados pela disposição final de rejeitos provindos da mineração de quartzito na paraíba. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC, 2015.
- [26] LINTZ, R. C. C.; JACINTHO, A. E. P. G. A.; PIMENTEL, L. L.; Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. v. 5, n. 2, p. 166-181, 2012.
- [27] SAIKIA, Nabajyoti. BRITO, Jorge de. Waste polyethylene terephthalate as naaggregate in concrete. In: *Materials Research*. Vol.16. 2013.