



## **Reutilização de Resíduos de Mármore e Granitos em PAVERS**

**Pablo Backes Roque<sup>1</sup>, Mauricio Livinali<sup>2</sup>, Matheus Bittencourt Wilges<sup>3</sup>,  
Paola Nadine Johann Külzer<sup>4</sup>, Cristiano Seger<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul  
(pablo.backes@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul  
(mauri.livi@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Regional e Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
(wilgesmatheus@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Regional e Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
(pnjohannk@gmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul (cristiano\_seger@yahoo.com.br)

### **Resumo**

*Através deste estudo é apresentado uma análise da implementação de resíduos de mármore e granitos em concretos utilizados na fabricação de pavers intertravados com traço pré-estabelecido. O material de análise foi coletado junto a empresa “GDI Mármore e Granitos”, de Santo Cristo/RS. Para a obtenção dos resultados foram realizados ensaios partindo-se do método de dosagem IPT (Paulo Helene e Terzian), buscando a resistência à compressão mínima exigida pela NBR 9781:2013 – Peças de Concreto para Pavimentação, de tráfego leve, que é de 35 Mpa, apresentando em seu melhor resultado 35,64 MPa aos 21 dias de cura.*

Palavras-chave: Mármore. Granitos. Resíduo.

Área Temática: Resíduos Sólidos.

## **Reuse of Marble and Granite Waste in PAVERS**

### **Abstract**

*Through this study it is presented an analysis implementing residue of marbles and granites for concrete used in pavers interlocked with pre-established traces. The analysis material was collected from “GDI Mármore e Granitos”, from Santo Cristo / RS. In order to obtain the results, tests were carried out starting from the IPT dosing method (Paulo Helene and Terzian), seeking the minimum resistance required by NBR 9781: 2013 - Concrete Pavement Parts, light traffic, which is 35 Mpa, presenting at its best result 35.64 MPa at 21 days of cure.*

Key words: Marbles. Granites. Residue.

Theme Area: Solid Waste



## 1 Introdução

O concreto é hoje o segundo produto mais consumido no mundo, e com projeções otimistas que presumem que o material possa ocupar o primeiro lugar a partir de 2025, superando até a geração de água potável (ABCP, 2012). Sendo o concreto um material de fácil moldagem as diversas necessidades do homem, e que depois de endurecido, tem uma resistência similar às das rochas naturais, sua utilização se expande largamente nos mais diferentes fins dentro das áreas da arquitetura e engenharia. Portanto, torna-se de vital importância o conhecimento sobre suas propriedades, a fim de se buscar novas técnicas e tecnologias de sua produção e utilização (VASCONSELOS, 2011). Em uma outra abordagem, o concreto também tornou-se, com o passar dos anos, um produto que incorporou beneficentemente resíduos e subprodutos da própria indústria da construção civil e mesmo de outros setores produtivos para o advento de uma visão voltada para a preservação ambiental.

Quando fala-se em preservação ambiental, o primeiro pensamento em busca de uma visão mais sustentável para uma produção limpa deve ser sempre a de evitar ou minimizar a geração de resíduos. Quando a eliminação da geração do resíduo não torna-se possível, o estudo da recolocação ou reutilização desse material novamente no processo se torna indispensável. No caso da indústria da Construção Civil, o ápice de seu processo de sustentabilidade se dá incorporando novamente em seus processos e insumos os seus próprios resíduos gerados anteriormente.

Na indústria de rochas ornamentais, fortemente relacionada com a indústria de Construção Civil, apresenta-se a geração de resíduos em grandes quantidades, tornando-se um grande problema ambiental. Segundo Apolinário et al., (2013), o Brasil é um dos maiores produtores de rochas ornamentais do mundo, sua produção chega a 7,8 milhões do total de 105 milhões de toneladas produzidos mundialmente, sendo que 1,25 milhões de toneladas são de resíduos relacionados à produção e ao beneficiamento das rochas.

As rochas ornamentais compreendem granitos, mármores e pedras como as ardósias, gnaisses e quartzitos. O mármore e o granito são os mais conhecidos e difundidos pela utilização em revestimentos ou peças ornamentais (MELO, 2008), e sua utilização se dá devido às suas características de resistência e durabilidade (PIRES et al., 2014). Segundo Mohamed et al. (2015), o mármore é uma rocha metamórfica composta predominantemente de calcite, somada a outros minerais. Já o granito, segundo Llope (2011), é uma rocha ígnea, composta também por outros minerais.

Porém, apesar de apresentar benefícios em sua utilização, as rochas ornamentais geram preocupações ambientais devido aos resíduos provenientes do seu beneficiamento junto à indústria (ALIABDO et al., 2014). O processo de produção de rochas ornamentais é feito a partir da serragem, em chapas, de grandes blocos de pedra. Segundo Alyamaç e Aydin (2015), este processo possui dois principais problemas: na serragem, onde cerca de 25 a 30% de cada bloco de granito ou mármore é perdido transformando-se em pó, gerando uma poluição do ar, e esse pó quando misturado com água, gera um resíduo na forma de lama.

Partindo da preocupação com a geração do pó, o Ministério do Trabalho e Emprego, através da Portaria nº 43/08, proibiu o processo de corte e acabamento a seco em rochas ornamentais. A Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos conceitua reutilização como processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes. Os resíduos sólidos gerados pela maioria das empresas são distribuídos em local não apropriado, caracterizando a destinação incorreta e o não aproveitamento do mesmo. O material é descartado em sua totalidade, gerando grandes volumes, poluindo visualmente e ambientalmente o local.



Logo, estudar possibilidades de reaproveitamento desse material residual poderia diminuir os impactos gerados por este setor industrial, bem como gerar benefícios ambientais e econômicos através da reciclagem do mesmo. Dentro deste cenário, a utilização de resíduos além de ser uma alternativa econômica é ecologicamente viável já que proporciona um destino definitivo para os resíduos oriundos da extração de rochas ornamentais. Diante do exposto, este trabalho insere-se dentro de uma linha de pesquisa de reaproveitamento de resíduos em concretos. Para tal, busca-se avaliar as possibilidades de utilização dos resíduos provenientes do beneficiamento de mármore e granitos – RCMG, na fabricação de blocos de concreto para pavimento intertravado, também conhecido como paver.

O uso de pavers para pavimentação no Brasil começou na década de 70, com a fabricação artesanal. Atualmente com a disponibilidade de equipamentos sofisticados permitem produzir peças de excelente qualidade, com diversos formatos e cores. Entre as vantagens oferecidas estão a resistência, a facilidade de manutenção e a aplicação com a utilização de mão-de-obra não especializada e local. Sua crescente utilização é explicada pelo custo reduzido de manutenção do concreto, considerado o mais indicado para calçamentos e pavimentação de vias urbanas e rodovias em função da segurança e da durabilidade proporcionadas (FERNANDES, 2016).

## 2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar tecnicamente a utilização do resíduo do beneficiamento de mármore e granito, como substituição de parte do agregado no concreto para a produção de blocos de concreto para pavimento intertravado - paver. Como objetivo complementar pretende-se comparar o desempenho dos pavers produzidos com e sem resíduos de mármore e granitos.

## 3 Materiais e Métodos

A definição e caracterização dos materiais utilizados para o desenvolvimento da pesquisa baseou-se na norma regulamentadora NBR 7211:2009 – Agregados para concreto, na qual é especificado as propriedades necessárias para que o material seja aceito ou rejeitado para sua utilização. Já para a definição dos procedimentos ensaiados referentes aos pavers, a pesquisa seguiu a NBR 9781:2013 – Peças de concreto para pavimentação, que rege as especificações técnicas e os procedimentos de ensaio necessários para a industrialização de pavers.

Os materiais utilizados passaram por ensaios de caracterização. O cimento utilizado foi o Cimento CPV-ARI, da marca Cauê, cujas características físicas e químicas podem ser observadas na Tabela 1, de acordo com o fabricante.

Tabela 1. Características Físicas do Cimento.

Ensaio:	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	#200 (%)	Início Pega (min)	Fim Pega (min)	3 dias (Mpa)	7 dias (Mpa)
Exigência	>= 2600	<=12	> 60	<=600	>=10	>=20
Média	4,465	4,1	291	350	24,5	27,7

Fonte: Adaptado de Cimentos Cimentec.

A areia utilizada possui granulometria média, os dados obtidos pelo ensaio de composição granulométrica possibilitaram determinar o seu módulo de finura (MF) correspondendo a 2,18, como também o diâmetro máximo (D<sub>máx</sub>) de 2,4 mm, além da massa específica de 2,667 g/cm<sup>3</sup> e a massa unitária de 1,605 Kg/dm<sup>3</sup>.



O agregado graúdo convencionalmente utilizado foi a brita 0. Através do ensaio de composição granulométrica, constatou-se que a brita 0 possui diâmetro máximo ( $D_{m\acute{a}x}$ ) de 9,5 mm e módulo de finura (MF) de 5,8. A massa unitária da brita é de 1,5183 Kg/dm<sup>3</sup> e massa específica de 2,0152 dm<sup>3</sup>.

As peças de mármore e granito foram recolhidas junto à empresa em formatos e tamanhos distintos. No Laboratório de Engenharia Civil da URI - Santo Ângelo, as mesmas passaram por processo de trituração, onde foram separadas em três diferentes granulometrias. A primeira, de maior dimensão, sendo recolhido pouca quantidade de material (o mesmo foi misturado à segunda granulometria). A segunda, de granulometria regular e em maior quantidade. Já a terceira granulometria em formato irregular, com presença de pedriscos e pó, sendo de difícil separação. Logo, a última granulometria não foi utilizada nos ensaios. Para os resíduos de mármore e granito considerados graúdos foram encontradas massa específica de 2,69 g/dm<sup>3</sup> e massa unitária: 1286,14 g/dm<sup>3</sup>. Foram misturados volumes de 50 % de resíduos de mármore e 50% de granito.

Também foi utilizado o pó do beneficiamento das peças, recolhido na própria empresa, como substituição à areia e para melhor empacotamento da mistura.

Já para a definição dos procedimentos ensaiados referentes aos pavers, a pesquisa seguiu a NBR 9781:2013 – Peças de concreto para pavimentação, que rege as especificações técnicas e os procedimentos de ensaio necessários para a industrialização de pavers. A resistência à compressão da peça é expressa em megapascals (Mpa), obtida dividindo-se a carga de ruptura do corpo de prova, expressa em newtons (N), pela área de carregamento expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>). O resultado é multiplicado pelo fator  $p=1,05$ . Para a determinação da resistência estimada ( $f_{ck,est}$ ) do conjunto de corpos de prova, o item A.5 da NBR 9781 apresenta equações para o cálculo conforme a Eq (1) e Eq. (2).

$$f_{ck,est} = f_c - t \times s \quad (1) \quad s = \sqrt{\frac{\sum(f_c - f_{ci})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Onde  $f_p$  = resistência média (MPa),  $f_{ci}$  = resistência individual (MPa),  $f_{ck,est}$  = resistência característica estimada à compressão (MPa),  $t$  = coeficiente de student,  $s$  = desvio padrão da amostra (Mpa).

Conforme item 5.4 da NBR 9781, o elemento estará apto para ser utilizado se atingir às especificações conforme Tabela 2.

Tabela 2. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa

Solicitação	Resistência Característica à compressão ( $f_{ck}$ ) aos 28 dias (Mpa)
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linhas	$\geq 35$
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	$\geq 50$

Fonte: Adaptado da NBR 9781:2013.

Assim, partiu-se do método de dosagem IPT (Paulo Helene e Terzian) com a pré-determinação do traço de 1:5. O método IPT utilizado constitui-se numa atualização e generalização realizada na Escola Politécnica da USP – Universidade de São Paulo, a partir do método desenvolvido inicialmente no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de



São Paulo, e parte da resistência característica do concreto aos 28 dias ( $f_{ck}$ ), do diâmetro máximo dos agregados e da consistência do concreto para se obter as proporções de areia e pedra britada para cada unidade de cimento, além da obtenção do fator água/cimento (Fac).

Foram adotados valores fixos para o pó utilizado e areia média, variando os valores para os resíduos de mármore e granito e basalto, afim de avaliar a viabilidade técnica dos resíduos frente a sua substituição pelo basalto, buscando verificar se o resíduo obtém a resistência à compressão mínima exigida por norma. Portanto, a priori, o objetivo da presente pesquisa não foi determinar o teor ideal de substituição de basalto por granito, mas sim verificar seu desempenho como possível agregado para fabricação de pavers. Com os presentes resultados a pesquisa prossegue com a determinação do teor ideal.

Na dosagem, foi adotado o teor fixo de 25% de pó dos resíduos, devido ao melhor empacotamento teórico para um teor de argamassa de 51% utilizado no traço em questão, e o Fac foi definido em 0,5. Os três traços utilizados nos ensaios são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa

<b>Traço 1</b>	<b>(1:5)</b>	<b>Traço 2</b>	<b>(1:5)</b>	<b>Traço 3</b>	<b>(1:5)</b>
Cimento	1	Cimento	1	Cimento	1
Resíduo	2,94	Resíduo	1,47	Resíduo	0
Areia	1,545	Areia	1,545	Areia	1,545
Pó	0,515	Pó	0,515	Pó	0,515
Basalto	0	Basalto	1,47	Basalto	2,94

Fonte: Elaboração do autor, 2017.

O processo de moldagem dos corpos de prova consistiu em, primeiramente, a pesagem de todos os materiais conforme o traço estabelecido, sendo misturados na betoneira os agregados graúdos, cimento e agregados miúdos. A água foi sendo acrescentada a medida em que o concreto apresentava trabalhabilidade, conforme o método de dosagem IPT recomenda.

Foram moldados nove corpos de prova por traço à uma temperatura de 25°C. Após sua desmoldagem, foram realocados para cura úmida até a respectiva data de rompimento.

Figura 1. Moldagem dos CP's



Fonte: Elaboração do autor, 2017.



#### 4 Resultados e discussões

Para os nove CP's moldados para cada traço, foi realizada a média de três corpos de prova por idade de rompimento, sendo rompidos aos três, sete e vinte e um dias de cura. Os resultados encontrados para a resistência à compressão são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados.

Traço (Mpa)	Dias		
	3	7	21
1	28,35	32,58	34,15
2	24,58	33,79	35,64
3	24,40	28,35	31,72

Fonte: Elaboração do autor, 2017.

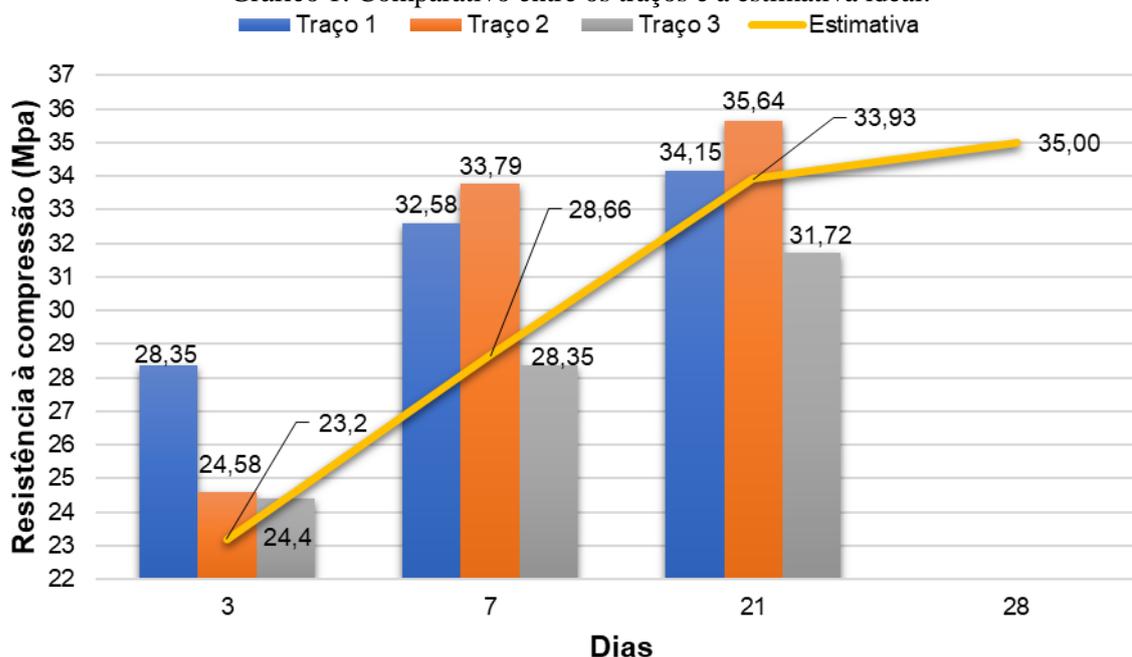
O item 12.3.3 da NBR 6118:2014 traz que quando a verificação de um corpo de prova é realizada com data inferior à 28 dias, é possível estimar através de índices relacionados ao tipo de cimento utilizado e a idade em dias do concreto, se sua resistência encontrada atingirá o fck de projeto. A partir dessa informação foi realizado o cálculo da estimativa que os corpos de prova deveriam apresentar, comparando-os com o apresentado, conforme Tabela 5 e posteriormente conforme Gráfico 1.

Tabela 5. Comparativo entre ocorrido e ideal.

Traço (Mpa)	Dias						28	100,0%
	3		7		21			
1	28,35	81,0%	32,58	93,1%	34,15	97,6%	35,00	100,0%
2	24,58	70,2%	33,79	96,5%	35,64	101,8%		
3	24,4	69,7%	28,35	81,0%	31,72	90,6%		
Estimativa	23,20	66,3%	28,66	81,9%	33,93	97,0%		

Fonte: Elaboração do autor, 2017.

Gráfico 1. Comparativo entre os traços e a estimativa ideal.



Fonte: Elaboração do autor, 2017.



Conforme apresentado, em relação a estimativa determinada para a obtenção dos 35 Mpa de resistência à compressão ao final dos 21 dias, somente os traços 1 e 2 mostram-se superiores aos índices pré-determinados em projeto.

## 5 Conclusão

Ao término do presente trabalho foi possível concluir que ambos os traços 1 e 2, mostram-se satisfatórios para a utilização em produção de pavers com adição de RCMG, tendo o traço 2 obtido 35, 64 MPa de resistência à compressão em 21 dias de idade, apresentando-se como o melhor resultado, atendendo o previsto na NBR 9781:2013 – Peças de Concreto para Pavimentação, de tráfego leve, que estabelece a resistência à compressão mínima de 35 MPa em tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linhas. O traço 3 situa-se abaixo do ideal em todas as determinações realizadas, tornando-se conclusivo que sua especificação não atingirá o pré-estabelecido em projeto e, portanto, determina-se como não satisfatório para a sua utilização.

Diante do exposto, o traço 2 composto por cimento, resíduo, areia, pó, basalto (1:1,47;1,545;0,515;1,47) seguindo as respectivas ordens apresentadas anteriormente, apresenta resultados de possível aprimoramento para a implementação de sua produção em escada industrial conforme a quantidade de resíduos gerado pela empresas que trabalham com o beneficiamento de mármore e granitos.

## Referências

ABCP. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, 2012.

ALIABDO, Ali A.; ELMOATY, Abd Elmoaty M. Abd; AUDA, Esraa M. **Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete**. Construction and Building Materials. 2014.

ALYAMAÇ, Kürsat Esat; AYDIN, Alp Bugra. **Concrete Properties Containing Fine Aggregate Marble Powder**. KSCE Journal of Civil Engineering. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_**NBR 7211: Agregados para concreto — Especificação**. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_**NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL, A Lei nº 12.305/10, de 02 de Agosto de 2010. Que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria nº 43, de 11 de março de 2008**. Proíbe o processo de corte e acabamento a seco de rochas ornamentais e altera a redação do anexo 12 da Norma Regulamentadora nº 15. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 12 mar. 2008. Seção 1, p. 99.

FERNANDES, I. **Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade**. Ribeirão Preto/SP, 2016.



LLOPE, W.J. **Activity concentrations and dose rates from decorative granite countertops.** J. Environ. Radioact.. 2011.

MELO, L.S.C. **Gestão ambiental de resíduos sólidos gerados em empresas de beneficiamento de rochas ornamentais em Belo Horizonte.** Monografia, Especialização em Meio Ambiente. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

MOHAMED, R.I.; ALGAMDI, S.K.; AL-SHAMANI, N.S. **Evaluation of radionuclide concentrations and associated radiological hazard in marble indices and granite used as building materials in Al-Madinah AlMunawarah.** Journal of Taibah University for Science, 2015. MONTANI, Carlo. XXV Rapporto Marmo e Pietre nel Mondo 2014. Disponível em: <http://www.ivololution.com.br/mais/fotos/6/17/3390/Rapporte2014.pdf>. Acesso em: 24 de Novembro de 2017.

PIRES, Vera; L., Rosa G.; A., Dionísio A. **Implications of exposure to high temperatures for stone cladding requirements of three Portuguese granites regarding the use of dowel-hole anchoring systems.** Construction and Building Materials. 2014.

VASCONSELOS, A.C.de. **O concreto no Brasil: obras especiais, contos concretos – Volume IV.** São Paulo, 2011.