



Reutilização de Resíduos de Mármore e Granitos em PAVERS

**Pablo Backes Roque¹, Mauricio Livinali², Matheus Bittencourt Wilges³,
Paola Nadine Johann Külzer⁴, Cristiano Seger⁵**

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

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

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

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

⁵ 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 benéficamente 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, mármore 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 ² /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_{máx}) de 2,4 mm, além da massa específica de 2,667 g/cm³ e a massa unitária de 1,605 Kg/dm³.



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/dm³ e massa específica de 2,0152 dm³.

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/dm³ e massa unitária: 1286,14 g/dm³. 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 (mm²). 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	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 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 (F_{ac}).

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 F_{ac} foi definido em 0,5. Os três traços utilizados nos ensaios são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa

Traço 1	(1:5)	Traço 2	(1:5)	Traço 3	(1:5)
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.

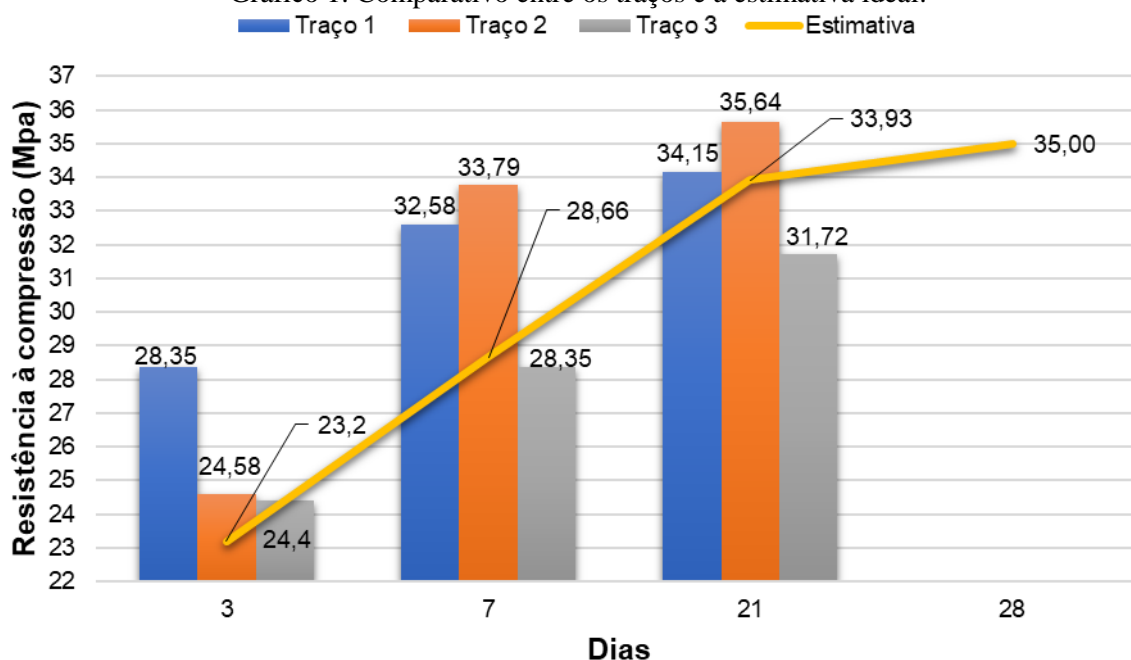
O item 12.3.3 da NBR 6118:2014 traz que quando a verificação de um corpo de prova é realizada com data inferior à 28 dias, é possível estimar através de índices relacionados ao tipo de cimento utilizado e a idade em dias do concreto, se sua resistência encontrada atingirá o fck de projeto. A partir dessa 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							
	3		7		21		28	
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.ivolution.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.