

CONCRETO DE RESISTÊNCIA ORDINÁRIA COM RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DO MÁRMORE E GRANITO

ANALÚ LEAL GONÇALVES¹ e SILVIA SANTOS²

¹Aluno de Graduação de Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, aanalugoncalves@icloud.com;

²Dra. em Engenharia Civil, Prof. Titular. UNIVALI, Itajaí-SC, ssantos@univali.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: A presente pesquisa teve como objetivo produzir concretos de resistência ordinária, que contivessem adições de resíduos de mármore e granito (RBMG), de forma que atendessem a resistência à compressão característica (f_{ck}) de 40MPa vislumbrando sua aplicação no mercado consumidor. Produziram-se dois concretos, nomeados como “concreto referência”, utilizando-se como aglomerante CP II F 40 e CP V-ARI-RS. Além destes, foram produzidos, com cada um dos cimentos, concretos com dois teores de substituição de cimento por RBMG (5% e 10%), que foram avaliados quanto às seguintes propriedades do estado endurecido: resistência à compressão axial; resistência à tração por compressão diametral e; absorção por capilaridade. Os resultados alcançados indicam que os concretos produzidos se enquadraram na classe de resistência, C40 da NBR 8953:2015. Sendo assim, os concretos com RBMG atingiram bom desempenho quanto às propriedades avaliadas. O emprego do resíduo mostrou-se mais vantajoso no concreto com 10% de teor de resíduo e aglomerante CP V-ARI-RS, por apresentar resultados mais consistentes e possuir maior teor de incorporação, trazendo uma expressiva economia no traço e permitindo uma destinação sustentável para o RBMG.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto de Resistência Ordinária, Cimento Portland, resíduo de mármore e granito.

ORDINARY RESISTANCE CONCRETE WITH MARBLE AND GRANITE CUT WASTE

ABSTRACT: This research aimed to produce concrete of ordinary resistance, which contained additions of marble and granite cut waste (MGCW), in order to meet the characteristic compression resistance (f_{ck}) of 40MPa envisioning its application in the consumer market. Two concretes were produced, named as “reference concrete”, using CP II F 40 and CP V-ARI-RS as a binder. In addition to these, concretes were produced with each cement, with two levels of cement replacement by MGCW (5% and 10%), which were evaluated for the following properties of the hardened state: resistance to axial compression; tensile strength by diametrical compression and; capillarity absorption. The results achieved indicate that the produced concrete fell into the resistance class, C40 of NBR 8953: 2015. Thus, concretes with MGCW achieved good performance in terms of the properties evaluated. The use of the MGCW proved to be more advantageous in concrete with 10% residue content and CP V-ARI-RS agglomerate, as it presents more consistent results and has a higher incorporation content, bringing significant savings in the mix and allowing a sustainable destination for the MGCW.

KEYWORDS: Ordinary Resistance Concrete, Portland Cement, marble and granite cut waste.

INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é o maior consumidor de recursos naturais no mundo. Dentre esses recursos está a extração de rochas para diversas finalidades, nem sempre utilizados em sua totalidade, resultando em grande volume de rejeitos (CAMPOS; MAZINI; SILVA NETO, 2012). O mármore e o granito são rochas ornamentais que embelezam devido ao seu efeito estético e são empregadas de diversas formas como, pisos, paredes, bancadas, ornamentos em edificações, entre outras aplicações.

Essas atividades de beneficiamento do mármore e granito geram uma expressiva quantidade de resíduos e a reciclagem é a melhor alternativa para minimizar os impactos ambientais gerados.

Mendes (2013) destaca que a construção civil possui grande potencial para atender aos objetivos globais de desenvolvimento sustentável com a tecnologia de incorporação de resíduos.

Somado a isso, na indústria do concreto, pelo alto consumo de matéria prima, julga-se importante o estudo de novos materiais em sua composição, de forma a se reduzir o impacto ambiental gerado em sua cadeia produtiva.

Tendo esses aspectos como pano de fundo, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a viabilidade técnico-econômico-sustentável da produção de concreto de resistência ordinária com a incorporação de resíduos decorrentes do corte de mármore e granito.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o quantitativo dos materiais que foram dispostos nos concretos, utilizou-se um traço referência fornecido por uma concreteira da região de Balneário Camboriú - SC (tabela 1), onde a resistência característica especificada aos 28 dias (*fck*) era de 40 MPa, com consumo de cimento de 410 kg/m³. O traço é composto por dois agregados miúdos, areia natural e areia artificial, brita granítica em duas granulometrias distintas, denominadas, nesta pesquisa, por brita zero (diâmetro máximo 12,5 mm) e brita um (diâmetro máximo 19,0 mm). A composição das areias na proporção de 30,14% areia natural e 69,86% areia artificial, levou à obtenção de um agregado miúdo com MF 2,37, e com distribuição granulométrica compatível com a zona utilizável da NBR 7211:2009. Já as britas, combinadas na proporção 34,90% brita zero e 65,10% brita um, enquadraram-se na zona 4,75/12,5 mm. Com relação ao resíduo do beneficiamento do mármore e granito (RBMG), após a caracterização, encontrou-se massa específica de 2,62 g/cm³, módulo de finura 1,80 e finura na peneira 45 µm de 2,5%. A norma NBR 15894-1:2010 sintetiza que, para que se tenha a possibilidade de adição de um fino ao cimento, este necessita apresentar valor ≤ 10% da massa retida na peneira 45 µm. Sendo assim, pode-se afirmar que, atendendo aos requisitos da norma, o RBMG é um resíduo que pode ser adicionado ao cimento Portland como *filler*.

Tabela 1. Traço Referência em massa

Cimento	Areia Nat.	Areia Art.	Brita 0	Brita 1	Água
1,0	: 0,44	: 1,02	: 0,67	: 1,25	: 0,45

A utilização da relação a/c de 0,45 implicou na necessidade de acrescentar ao traço um aditivo plastificante (Tec – Mult 900, da marca GCP *Applied Technologies Brasil*, fabricado e fornecido por RheoSet - *GRACE® Construction Products*), sendo que cada concreto exigiu uma quantidade própria de aditivo a ser incorporada, de forma a atingir o valor pré-estabelecido de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*), de 12 ± 2 centímetros. Os teores de substituição de cimento Portland por RBMG de 5% e 10%, foram definidos a partir do estudo de Meira (2019). A substituição foi feita em volume absoluto de cimento de forma a se manter o volume total de finos na mistura.

Os concretos foram submetidos aos seguintes ensaios no estado fresco: massa específica no estado fresco (NBR 9833:2009) e consistência pelo ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump Test* - NBR NM 67:1998). No estado endurecido as análises se deram em relação à: resistência à compressão axial (NBR 5739:2007); resistência à tração na compressão diametral (NBR 7222:2011); determinação da absorção de água por capilaridade (NBR 9779:2012) e profundidade de carbonatação do concreto (NBR 9779:2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 2 e 3 resumem os resultados obtidos nos concretos produzidos.

Tabela 2. Resultados obtidos

Nomenclatura	Consumo de Aditivo	<i>Slump Test</i> *	Massa Específica*	Resistência à compressão Axial**	Resistência à Tração por compressão diametral**
--------------	--------------------	---------------------	-------------------	----------------------------------	-------------------------------------------------

	(Kg)	(cm)	(Kg/m ³)	(MPa)	(MPa)
REF CP II F 40	0,06	14,0	2374,24	50,63	12,94
5% CP II F 40	0,04	11,0	2364,48	44,24	11,57
10% CP II F 40	0,11	12,0	2362,35	42,96	13,46
REF CP V-ARI-RS	0,06	13,5	2393,34	44,93	13,19
5% CP V-ARI-RS	0,07	12,0	2386,55	44,75	12,10
10% CP V-ARI-RS	0,09	11,3	2359,38	43,68	10,28

*Média de três determinações

** Média de oito determinações

Fonte: Autoras, 2020.

Tabela 3. Resultados obtidos para absorção de água por capilaridade

Nomenclatura	Absorção de água por capilaridade média*					Desvio-padrão (g/cm ²)	Coeficiente de variação (%)
	3h	6h	24h	48h	72h		
REF CP II F 40	0,12	0,16	0,25	0,29	0,33	0,01	4,61
5% CP II F 40	0,05	0,07	0,09	0,12	0,16	0,02	16,71
10% CP II F 40	0,10	0,12	0,20	0,25	0,29	0,01	6,83
REF CP V-ARI-RS	0,10	0,13	0,20	0,25	0,29	0,05	22,20
5% CP V-ARI-RS	0,10	0,12	0,22	0,25	0,27	0,04	19,40
10% CP V-ARI-RS	0,10	0,13	0,22	0,29	0,34	0,06	23,21

*Média de quatro determinações

Fonte: Autoras, 2020.

Visualmente, todos os concretos apresentaram-se coesos e bem argamassados, sem sinais de segregação e/ou exsudação. Nos ensaios de abatimento de tronco de cone, todos os traços respeitaram o intervalo adotado de (12 ± 2) cm.

Com a retirada de material fino (os cimentos) das misturas e substituição por material mais grosso (RBMG), esperava-se que houvesse redução no consumo de aditivo, uma vez que reduzindo-se a superfície específica do material cimentante, leva-se à redução do consumo de água, que por ser fixa ($a/c = 0,45$), levaria à redução do consumo de aditivo para alcance de abatimento de tronco de cone da mesma ordem de grandeza dos concretos referências. Isso não foi observado. Explica-se tal comportamento pelo fato de o resíduo ter sido moído em momentos diferentes, resultando em um produto final com superfície específica e teor de finos diferentes, para a produção de cada concreto alterando, assim, o comportamento dos concretos com ele produzidos.

Ao analisar os resultados obtidos para massa específica, em relação aos concretos referência, a análise múltipla de médias (Teste de Duncan – NANNI, 1896), apresentou, com 95% de confiança, que não há diferença significativa entre os valores desta propriedade para concretos produzidos, ou seja, os valores encontrados não podem ser considerados diferentes. Isso indica que a substituição parcial de cimento Portland pelo RBMG não interferiu no desempenho dos concretos referente a esta propriedade.

No estado endurecido, o concreto referência com CP II F 40 destacou-se, atingindo o valor médio de 50,63MPa. Para o traço de CP II F 40 com 5% de RBMG é possível notar que aos 28 dias de cura do concreto, o traço teve a resistência esperada superada em 11%, atingindo cerca de 44 MPa. No estudo do traço, 10% de resíduo, observou-se também, um ganho de resistência de 46,91% entre as idades 1 e 7 dias, e 16,51% entre os 7 e 28 dias. O menor ganho de resistência entre a primeira e a última semana de cura, dos concretos analisados, foi nesta composição. Isso facilmente se explica em virtude da redução de consumo de cimento Portland na mistura. Com a maioria dos grãos do cimento já hidratados nas primeiras semanas, o incremento de resistência ao longo do tempo tende a diminuir. No entanto, o concreto não teve sua resistência esgotada e conseguiu atingir a classe desejada (C40) com cerca de 43 MPa, aos 28 dias.

Para o concreto referência com aglomerante CP V-ARI-RS o desenvolvimento do concreto nas primeiras idades ocorreu conforme esperado. O mesmo superou, aos 28 dias, a resistência da classe proposta, com cerca de 45 MPa, por tratar-se de um concreto referência, sem a adição do resíduo, o resultado já era esperado. No traço com 5% de adição, para CP V-ARI-RS, a verificação da resistência

adquirida já na primeira semana da hidratação dos grãos de cimento o concreto alcançou 82,5% da resistência total desejada. Isso ocorre em função do tipo de cimento Portland utilizado. O cimento CP V-ARI-RS é um aglomerante de alta resistência inicial, que pode atingir a resistência almejada logo nos primeiros dias de cura do concreto. Portanto, aos 28 dias, o concreto com 5% de adição de resíduo de mármore e granito, em conjunto com o CP V-ARI-RS, alcançou 44,75 MPa, sendo compatível com sua utilização para a classe C40. Ao observar o comportamento, do ganho de resistência à compressão axial, do concreto com 10% de RBMG e CP V-ARI-RS aos 28 dias, o traço atingiu cerca de 44 MPa.

Quanto a resistência à tração por compressão diametral, os resultados analisados foram satisfatórios. Os dados foram submetidos à análise múltipla das médias (Teste de Duncan - NANNI, 1986), com confiabilidade de 95%, e pode-se afirmar que não houve diferenças significativas, para esta propriedade, entre os traços abordados, para ambos os cimentos.

Em relação à absorção de água por capilaridade, a análise múltipla das médias (Teste de Duncan -NANNI, 1986), não foram observadas diferenças significativas entre os valores obtidos para os concretos, tanto com cimento CP II F 40 quanto com CP V-ARI-RS e entre eles. Isso indica que a incorporação do resíduo, nos teores aqui praticados, não afetou o desempenho dos concretos em relação a esta propriedade.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste documento são próprios desta produção, por conter características únicas dos materiais aqui utilizados. Todos os traços testados atingiram a classe de resistência especificada no projeto, C40, conforme a NBR 8953:2015 e, também, satisfazem as condições de concreto armado para a classe de agressividade ambiental IV, da NBR 6118:2014.

Ao analisar as propriedades alcançadas no estado fresco dos concretos, não se observou diferença estatística nos valores de massa específica dos traços. A incorporação do resíduo não alterou os concretos com relação a esta propriedade.

Ainda nas propriedades do estado fresco, constatou-se que todos os concretos atingiram os valores de abatimento de tronco de cone desejado (12 ± 2 cm). No entanto, faz-se necessário maiores investigações para estabelecer o comportamento das misturas com RBMG na presença de aditivos plastificantes, visto que o registro feito aqui foi inconclusivo.

No que tange às propriedades alcançadas no estado endurecido, a resistência à compressão axial dos concretos, aos 28 dias, para a família de cimento Portland CP II F 40, foi maior nos concretos referência, em seguida nos concretos com 5% de resíduo e por fim no concreto com 10% de resíduo, o que se explica pela maior quantia de cimento Portland nos traços referência do que nos demais traços, sendo o cimento o principal material responsável pelo ganho de resistência das misturas. Já nos concretos de família CP V-ARI-RS, os resultados de resistência à compressão axial, aos 28 dias, não podem ser considerados diferente. Isso pode indicar que o RBMG pode ter interações diferentes a depender do tipo de cimento em questão, interferindo nesta propriedade.

Já os resultados de absorção de água por capilaridade indicam que a presença do resíduo não influencia no desempenho dos concretos, independentemente do cimento utilizado.

Dentro dos limites desse trabalho, o concreto com cimento CP V-ARI-RS com 10% de RBMG apresentou-se como o mais vantajoso, por atender tanto às exigências pré-estabelecidas de consumo de cimento Portland, para a classe de agressividade ambiental IV, como por absorver maiores quantidades do resíduo. Isso pode significar: (i) diminuição do passivo ambiental gerado pelas empresas beneficiadoras de mármore e granito; (ii) redução da extração de matéria-prima, pela redução do consumo de cimento ou aumento da produção das cimenteiras sem necessidade de aumento da planta industrial; e (iii) redução da emissão de gás carbônico na produção de cimento.

Posto isso, o incentivo pelo emprego desse material em concretos contribui para a produção de concretos inteligentes e colabora para o aumento dos índices de sustentabilidade no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

- NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- NBR 7211: Agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
- NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.
- NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.
- NBR 9833. Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.
- NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
- NBR:15894-1: Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2010.
- Campos, C. F. S.; Mazini, G. B.; Silva Neto, G. A. da. Análise das propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido com resíduo sólido de cerâmica. *Colloquium: Exactarum*, Presidente Prudente, v. 4, n. 2, p.1-11, jul./ago. 2012. Disponível em: <<http://revistas.unoeste.br/revistas/ojs/index.php/ce/article/viewFile/796/968>>. Acesso em: 25 set. 2018.
- Meira, C. de J. Concreto de resistência ordinária produzido com resíduo do beneficiamento de mármore e granito. 2019. Trabalho de conclusão de curso – Curso de engenharia civil, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí.
- Mendes, H. A construção civil e seu impacto no meio ambiente. *Green Domus*, 15 jul. 2013. Desenvolvimento Sustentável. Disponível em:<<http://greendomus.com.br/a-construcao-civil-e-seu-impacto-no-meio-ambiente/>>. Acesso em: 27 mar. 2018.
- Nanni, L. F. Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais. 1986. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.