

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DO CORTE DE MÁRMORE E GRANITO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

CARLA GALL TERNES; CAMILA VOLTOLINI MORETÃO²; DÉBORA DE ROSS ZOLET³;
TAINÁ SARAMENTO⁴; SÍLVIA SANTOS^{5*}.

¹Engenheira Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, carla.ternes@hotmail.com;

²Graduanda em Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, camilavoltolinim@hotmail.com;

³Engenheira Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, deborazolet@gmail.com;

⁴Engenheira Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, tainasaramento@hotmail.com;

⁵Professora Doutora, UNIVALI, Itajaí-SC, ssantos@univali.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió – AL, Brasil.

RESUMO: O objetivo desta pesquisa foi avaliar a viabilidade da substituição de cimento CPV-ARI por resíduo de mármore e granito na produção de concreto de alto desempenho, avaliando seu desempenho mecânico e requisitos de durabilidade. Foram produzidos, com base no traço referência de Pedroni e Santos (2016), quatro concretos com teores de substituição de cimento Portland por resíduo de mármore e granito: 5%; 7,5%; 10%; 12,5%. Nas propriedades do estado fresco (abatimento de tronco de cone e massa específica) não foi observado influência significativa do uso de resíduo de mármore e granito nas propriedades do concreto. No estado endurecido, não foi registrada uma queda significativa nos resultados obtidos. Ainda, o ensaio de absorção de água por capilaridade não demonstrou uma influência expressiva da inserção do resíduo quanto à ascensão de água no concreto. Deste modo, os resultados alcançados foram considerados satisfatórios, tendo em vista que o material em questão é considerado quimicamente inerte, além de possuir finura maior que a do cimento Portland.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto de Alto Desempenho; Resíduo de mármore e granito; Cimento Portland.

USE OF MARBLE CUT RESIDUE AND GRANITE IN PRODUCTION OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE

ABSTRACT: The objective of the research was to evaluate the feasibility of replacing CPV-ARI cement by marble and granite residue in high-performance concrete production, evaluating its mechanical performance and durability requirements. Based on the Pedroni and Santos (2016) reference ratio, four concretes with cement substitution rates for marble and granite residues were produced: 5%; 7.5%; 10%; 12.5%. No significant influence of the use of marble and granite residue on concrete fresh properties was observed (consistency and density). In the hardened concrete, there was no significant drop in the results obtained. Further, the capillary water absorption test did not demonstrate an expressive influence of the insertion of the residue on the rise of water in the concrete. Thus, the results obtained were considered satisfactory, considering that the material in question is considered chemically inert, in addition to having fineness greater than that of Portland cement.

KEYWORDS: High-Performance concrete; Marble cut residue and granite; Portland cement.

INTRODUÇÃO

O beneficiamento de mármore e granito é responsável pela geração de empregos desde sua extração até o uso das rochas como ornamentos pela indústria da construção civil. Entretanto, a discussão acerca do desenvolvimento sustentável propõe a inclusão de resíduos no ciclo produtivo, a fim de que se produza um novo produto, capaz de minimizar o impacto gerado pelos resíduos ao serem despejados no meio ambiente.

O concreto de alto desempenho (CAD) é caracterizado pela sua baixa relação água/aglomerante e alta utilização de finos. Nesse contexto, torna-se pertinente a realização de estudos acerca do tema, uma vez que o resíduo proveniente do beneficiamento do mármore e do granito é caracterizado pela sua baixa granulometria.

Estudos realizados por Al-Akhras et al. (2010) a respeito do resíduo proveniente de rochas ornamentais, evidenciaram que, pode-se extrair resultados satisfatórios quanto ao ensaio de resistência à compressão axial, uma vez que, essa propriedade aumentou com a inserção do resíduo no traço substituindo parcialmente o cimento Portland.

MATERIAL E MÉTODOS

Tendo como base um traço referência de Pedroni e Santos (2016) e os estudos de Al-akhras et al. (2010), foram produzidos concretos com resíduo de mármore e granito em diferentes teores de substituição ao cimento Portland, analisando suas propriedades como massa específica, resistência à compressão axial e absorção de água. Portanto, o traço (em massa) adotado como referência corresponde à 1 : 0,61 : 1,13 : 2,41 : 0,45 (cimento : areia A : areia B : brita 0 : água), tem resistência característica desejada aos 28 dias (f_{ck}) de 50 MPa, não possui qualquer adição de resíduo e seu consumo de cimento é de 426,37 kg/m³.

A caracterização dos materiais envolvidos na pesquisa, foi realizada conforme exigências das normas técnicas vigentes. O aglomerante utilizado nos concretos produzidos foi o CPV – ARI: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial; Para compor o agregado miúdo foi realizada uma mistura de duas areias naturais (Areia A e Areia B); O agregado graúdo utilizado foi a brita de origem granítica com diâmetro máximo de 12,5 mm; e, por fim o aditivo utilizado foi o Mira Flow 909, aditivo superplastificante à base de policarboxilatos da marca *GCP Applied Technologies Brasil*.

O resíduo de mármore e granito foi aplicado no concreto como substituto parcial do cimento Portland, e sua caracterização foi feita a partir de dois critérios: massa específica pela NBR NM 23/2001 e índice de finura pela NBR 15894-3/2010.

Baseando-se nos resultados de Al-akhras et al. (2010), que apontaram que os concretos com substituição entre 5 e 15% de cimento por resíduo de mármore e granito apresentaram o melhor desempenho nos parâmetros analisados, foram definidos quatro teores de substituição, 5%, 7,5%, 10% e 12,5%. Deste modo, foram determinados cinco traços a serem produzidos.

Para cada traço foram moldados 21 corpos de prova (CPs). No estado fresco foram analisados abatimento pelo tronco de cone (*Slump Test*), e com uma amostragem de 12 CPs foi verificada a massa específica no estado fresco. Posteriormente, no estado endurecido, 5 CPs foram utilizados para determinar o índice de absorção de água por capilaridade e posterior rompimento por compressão diametral para a análise da distribuição da água no seu interior, e os 16 CPs restantes foram usados para determinar a resistência à compressão axial para as idades de 1, 7 e 28 dias.

O Quadro 01 descreve os concretos produzidos, seus teores de substituição e a quantidade de CPs necessários para cada ensaio realizado.

Quadro 01 - Descrição e quantidade de corpos-de-prova (CPs) dos concretos produzidos.

Classe de resistência	Nomenclatura	Teor de substituição	Nº de CPs para resistência à compressão axial	Nº de CPs para absorção de água
50 MPa	REF/50	0,0%	1,7 e 28 dias: 4 CPs para as duas primeiras idades e 8 CPs para 28 dias de idade, para cada teor de substituição	28 dias: 5 CPs para cada teor de substituição
	CLR 5/50	5%		
	CLR 7,5/50	7,5%		
	CLR 10/50	10%		
	CLR 15/50	12,5%		

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Análise do resíduo de mármore e granito

O ensaio de finura na peneira 45 μ m, realizado de acordo com a Parte 3 da NBR 15894/2010, mostrou que o resíduo de mármore e granito apresenta, em média, 8% de material retido nesta peneira, conforme demonstra na Tabela 01, validando assim, a prerrogativa da Parte 1 desta mesma normatiza, a qual institui que para incorporar materiais ao cimento Portland estes devem apresentar até 10% de material retido.

Tabela 01 - Ensaio de finura do Resíduo de mármore e granito.

Amostra	Massa retida na peneira 45 μ m (g)	Massa inicial (g)	F45 μ mn
1	1,2	20,0	6 %
2	1,7	20,0	8,5%
3	1,9	20,0	9,5%
Média	1,6	20,0	8%

Em relação à massa específica, realizado de acordo com a NBR NM 23/2001, obteve-se 2,66g/cm³. A partir desse ensaio, pode-se concluir que o material é mais leve do que o cimento que tem massa específica de 3,01g/cm³. Ou seja, para uma mesma unidade de volume, o resíduo de mármore e granito tem massa inferior à do cimento.

2. Concreto no estado fresco

Os cinco concretos produzidos tiveram consumos de aditivo dentro dos limites fixados pelo fabricante (entre 0,6% e 1,2% da massa total de material aglomerante – cimento + resíduo de mármore e granito), atingiram a faixa de trabalhabilidade fixada inicialmente de (10 \pm 2) cm, de acordo com resultados expressos na Tabela 02.

Tabela 02 - Características dos concretos produzidos.

Concreto	Massa de cimento + resíduo de mármore e granito (kg)	Aditivo máximo (g)	Aditivo utilizado		Slump Test (cm)
			(g)	(%)	
Ref	21,32	255,84	158,52	0,74	9,0
5%	21,32	255,84	191,88	0,90	9,5
7,5%	21,32	255,84	127,92	0,60	9,0
10%	21,32	255,84	159,42	0,75	9,5
12,5%	21,32	255,84	127,92	0,60	10,0

Desta forma, baseado nas definições da NBR 8953/2015, são classificados como S50 por apresentarem abatimento entre 50 e 100mm, com aplicação indicada para alguns tipos de pavimento e elementos de fundação.

Quanto aos resultados de massa específica, baseado na NBR 9833/2008, os resultados estão na Tabela 03. Não foi observada influência clara de alteração desta propriedade pela incorporação do resíduo de mármore e granito. Em termos percentuais, se comparado ao concreto de referência, os concretos com substituição de resíduo de mármore e granito apresentaram diferenças percentuais entre 2,19 e 3,51%. Mesmo não apresentando um comportamento linear, a análise múltipla de médias apresentou, com 95% de confiança, que não há diferença significativa entre a massa específica dos concretos com substituição do cimento por resíduo de mármore e granito e o concreto referência, não podendo ser considerados diferentes.

Tabela 03 – Massa específica.

Concreto	Massa específica (kg/m ³)	Diferença em relação ao Ref (%)
Ref	2,28	-
5%	2,36	3,51
7,5%	2,35	3,07
10%	2,36	3,51
12,5%	2,33	2,19

3. Concreto no estado endurecido

A Tabela 04 apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão axial, realizado de acordo com a NBR 5739/2009 nas idades de 1, 7 e 28 dias.

Tabela 04 – Resumo da resistência à compressão axial ao longo do tempo.

Idade (dias)	REF		5%		7,5%		10%		12,5%	
	Resist. (MPa)	CV (%)	Resist. (MPa)	CV (%)	Resist. (MPa)	CV (%)	Resist. (MPa)	CV (%)	Resist. (MPa)	CV (%)
1	27,30	2,16	17,93	2,68	18,20	25,82	22,55	1,77	20,73	2,80
7	45,53	6,59	44,70	6,64	40,80	2,84	41,73	2,63	38,23	4,81
28	54,79	5,79	53,04	2,70	50,75	3,92	49,90	4,19	47,46	5,69

Tanto o concreto de referência quanto os com menor percentual de substituição (5% e 7,5%) de cimento Portland por resíduo de mármore e granito superaram, aos 28 dias, o f_{ck} desejado de 50 MPa. Os demais concretos, com 10% e 12,5% de substituição, ficaram abaixo do f_{ck} proposto. Entretanto, a análise múltipla de médias (NANNI, 1986) realizada revela, com 95% de confiança, que os concretos não podem ser considerados diferentes entre si.

Assim para os concretos com teores de 5% e 7,5% o uso dos resíduos de mármore e granito aqui praticados, possibilitou a obtenção de concretos de alto desempenho, com relação ao nível de resistência praticado ($f_{ck} > 50$ MPa). Muito embora não haja diferença significativa entre as médias de resistência à compressão axial atingidas para a idade normativa de 28 dias, o valor numérico previsto em projeto (neste caso 50MPa), precisa ser atingido para os casos de controle tecnológico do concreto e aceitação automática da obra (NBR 12655/2015). Assim, dentro dos limites deste trabalho, seriam praticáveis os teores de 5 e 7,5% de substituição de resíduo de mármore e granito pelo cimento CPV-ARI.

A Tabela 05 traz a absorção capilar de água pela raiz quadrada do tempo, em minutos, realizado de acordo com a NBR 9779/2012 aos 28 dias.

Tabela 05 - Absorção de água por capilaridade

Concretos	Absorção por capilaridade (g/cm ²)				
	3h	6h	24h	48h	72h
Ref	0,09	0,09	0,24	0,31	0,31
5%	0,07	0,13	0,23	0,28	0,32
7,5%	0,13	0,16	0,23	0,27	0,30
10%	0,09	0,12	0,19	0,24	0,28
12,5%	0,15	0,21	0,29	0,33	0,39

O concreto com 12,5% de substituição foi o que apresentou maior absorção por capilaridade em toda a extensão do ensaio. Corroborando com a teoria de que com maior teor de substituição, maior absorção, tendo em vista que o material incorporado apresenta finura menor do que o cimento. Todavia, não foi observado o mesmo comportamento para os outros teores de substituição em relação ao concreto referência, havendo variação no comportamento observado ao longo do ensaio.

CONCLUSÃO

Analisando-se inicialmente as propriedades no estado fresco, não foi observada uma influência expressiva da substituição de cimento Portland por resíduo de mármore e granito na avaliação do abatimento de tronco de cone, uma vez que, a troca do material fino da mistura não indicou aumento relevante na demanda de aditivo se comparado ao concreto Referência. Contudo, a demanda de aditivo não apresentou um comportamento linear, cabendo novas investigações para o entendimento dessa propriedade, especificamente quando empregados tais resíduo na mistura.

Quanto aos resultados de massa específica do concreto, mesmo não apresentando um comportamento linear, a incorporação do resíduo de mármore e granito ao traço resultou em alterações percentualmente reduzidas, quando comparados aos valores obtidos pelo concreto de referência (menores ou iguais a 3,5%).

Constata-se que, para o ensaio de resistência à compressão axial, apenas os concretos Referência, Substituição 5% e 7,5% superaram, aos 28 dias, o f_{ck} estabelecido de 50 MPa. Por conseguinte, esta perda de resistência pode ser justificada pela substituição de cimento CPV-ARI por um material quimicamente inerte, ou seja, que não contribui para o desenvolvimento de resistência do material.

Para os resultados de absorção de água por capilaridade, não foi possível visualizar um comportamento padronizado dos traços produzidos. Contudo, os valores mais satisfatórios foram observados no concreto com substituição de 10% de resíduo de mármore e granito, o qual apresentou uma absorção de fluido por unidade de área da ordem de 0,28 g/cm² (enquanto o concreto Referência atingiu um valor médio de 0,31 g/cm²).

Dentro dos limites da presente pesquisa, e com o uso dos materiais aqui apresentados e caracterizados, conclui-se que embora tenha ocorrido uma diminuição da resistência à compressão axial dos concretos sustentáveis, os teores de substituição de cimento CPV-ARI por resíduo de mármore e granito, sem exceções, possuem potencial técnico para compor misturas de concreto. Ainda, o teor de substituição de cimento Portland por resíduo de mármore e granito mais indicado, pelo desempenho global apresentado, foi de 5%.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: Concretos para fins estruturais. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9833: Concreto Fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação– Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15894-3: Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta; Parte 3: Determinação da finura por meio da peneira 45 µm. Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.
- AL-AKHRAS, N. M.; ABABNEH, A.; ALARAJI, W. A. Using burnt stone slurry in mortar mixes. In: Construction and Building Materials. v. 24, p. 2658-2663, 2010.
- NANNI, L. F. Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais. Porto Alegre, 1986. Caderno Técnico.
- PEDRONI, G.C.; SANTOS, S. Utilização de cinza de casca de arroz e borracha de pneu na produção de concreto de alto desempenho. Belo Horizonte: IBRACON, 2016.
- VALIN, M. O. et al. Viabilidade Da Utilização do Concreto de Alto Desempenho. In: Congresso Brasileiro Do Concreto, 56, 2014, Cuiabá: Cba, 2014.