

RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETOS OBTIDOS COM INCORPORAÇÃO DO SUBPRODUTO DO CORTE E ACABAMENTO DE MÁRMORE E GRANITO

Luiz Veriano Oliveira Dalla Valentina – Doutor Eng., luiz.dalla@pesquisador.cnpq.br
UDESC/SOCIESC

Luciana Faganello – M.Eng., lufaga@netvision.com.br
UDESC

Simone Claudiano Semptikovski – Graduanda de Eng. Mec., simone.sempt@gmail.com
UDESC

Resumo: A indústria brasileira do beneficiamento de rochas ornamentais gera em torno de 240.000 toneladas por ano de resíduos que poluem e degradam o meio ambiente. A utilização de resíduos na construção civil apresenta-se como uma excelente alternativa para a diminuição do impacto ambiental. No Brasil o consumo de agregados naturais somente na produção de concreto e argamassas é de 220 milhões de toneladas. Este trabalho avalia à resistência mecânica de concretos de alta resistência obtidos somente com a incorporação do subproduto resultante do corte e acabamento de chapas de mármore e granitos (RMG) e com a adição de aditivo superplastificante. O subproduto foi utilizado como parte do agregado miúdo, em substituição à matéria prima natural. Com base nos resultados obtidos foi observado que as resistências mecânicas dos concretos com a incorporação deste subproduto são maiores do que para os concretos de referência.

Palavras-chave: Primeira palavra, Segunda palavra, Terceira palavra (máximo de 3).

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos se tornaram graves problemas urbanos com um gerenciamento oneroso e complexo, considerando-se volume e massa acumulados. Segundo Ângulo *et al* (2001) no modelo atual de produção os resíduos sempre são gerados seja para bens de consumo duráveis ou não duráveis. Neste processo a produção quase sempre utiliza matérias primas não renovável de origem natural.

As atividades relacionadas com a construção civil possuem enorme impacto ambiental. O setor é o maior consumidor individual de recursos naturais, estima-se que seja responsável por 15 a 50% do consumo dos recursos naturais extraídos (JOHN 2003). Em volta das grandes cidades areia e agregados naturais começam a ficar escassos. Por outro lado a construção civil é potencialmente uma grande consumidora de resíduos provenientes de outras indústrias.

Uma construção sustentável deve basear-se na prevenção e redução dos resíduos pelo desenvolvimento de tecnologias limpas, no uso de materiais recicláveis ou reutilizáveis, no uso de resíduos como materiais secundários e na coleta e deposição inerte (BARDELLA 2006).

O setor das rochas ornamentais é um causador de impactos ambientais desde a fase de extração dos blocos de rochas até o seu processamento. Para Mothé Filho (2005), o setor é uma das atividades industriais que mais tem crescido nas três últimas décadas no Brasil e consequentemente têm aumentado a quantidade de rejeitos. O Brasil enfrenta sérios problemas com os resíduos provenientes dessa indústria, que contribuem com a degradação do meio ambiente. A quantidade estimada da geração destes resíduos no Brasil é de 240.000 toneladas por ano, segundo Moura (2002).

Nesse contexto, considerando o volume de resíduo gerado, tentando contribuir para o desenvolvimento sustentável e procurando inserir esse subproduto na indústria da construção civil, esse trabalho teve como objetivo a obtenção e a avaliação do comportamento no que se refere a resistência à compressão de concretos de alta resistência (CAR) somente com a incorporação do subproduto denominado nesta pesquisa de RMG e de aditivo superplastificante, sem a adição de aditivos minerais de utilização comuns em CAR tais como microssílica, sílica ativa entre outros.

2. SUBPRODUTO DE MÁRMORE E GRANITO

O processo produtivo da indústria de rochas ornamentais divide-se em três fases distintas conforme mostra a tabela 1, basicamente são três os tipos de subprodutos que são gerados nestas etapas: de lavra, do processo de serragem dos blocos, e do processo de corte, polimento e acabamento.

Tabela 1 – Processo Produtivo

	1°	2°	3°	
Etapas	Extração	Desdobramento	Beneficiamento	Acabamento
Local	Pedreira ou Jazida	Serrarias	Marmorarias	Marmorarias
Processo	Extração dos blocos	Serragem dos blocos	Corte e polimento das chapas	Corte de chapas polidas
Produto obtido	Blocos brutos	Chapas brutas	Chapas polidas	Produtos acabados
Subproduto gerado	De lavra	Da serragem dos blocos	Do corte e polimento	Do corte e acabamento - RMG

O subproduto utilizado no desenvolvimento desta pesquisa foi o da etapa de Acabamento denominado RMG. As chapas polidas nas marmorarias são cortadas para a obtenção dos produtos finais, como bancadas, arte funerária, tampos de mesa, construção civil, revestimentos etc. Durante o processo, o subproduto gerado segue através de canaletas para tanques de decantação, onde ocorre o processo de evaporação da água restando o de acabamento, em outros casos os tanques ficam fechados e quando estão cheios o mesmo é retirado e encaminhado para descarte.

3. CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA

Encontra-se na literatura algumas definições para as expressões *concreto de alta resistência* (CAR) e *concreto de alto desempenho* (CAD) baseadas em dois critérios significativos: resistência à compressão e relação água/aglomerante. O CAR tem sido classificado basicamente em função da sua resistência a compressão aos 28 dias de idade. Pelo ACI 363R-92, CAR é definido como sendo concreto com resistência à compressão maior que 41 MPA.

A NBR 8953 (1992) classifica os concretos segundo a resistência característica à compressão (f_{ck}): no grupo I estão os concretos com resistências entre 10 e 50 MPA e no grupo II os concretos com resistências entre 50 e 80 MPA. Segundo a norma os concretos pertencentes ao grupo II são concretos com resistências e características além dos convencionais.

Para AITCIN (2000), um CAD é essencialmente um concreto que tem uma relação água/ aglomerante baixa, estabelecida no máximo em 0,40.

No caso de CAR contendo sílica ativa e superplastificante o aumento da resistência está associado a uma microestrutura mais densa e com menos vazios, dessa maneira esse concreto apresenta algumas propriedades vantajosas como uma baixa permeabilidade, alta resistência a abrasão e ao ataque de agentes agressivos, ou seja, maior durabilidade.

Esta pesquisa limitou-se ao estudo de propriedades mecânicas dos concretos, basicamente a resistência à compressão, e não serão avaliados aqui parâmetros de durabilidade. Desse modo adota-se a expressão concreto de alta resistência ou somente CAR para os concretos obtidos neste trabalho.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O subproduto utilizado na pesquisa é proveniente do corte de chapas de mármore e granito (RMG) de uma marmoraria localizada no município de Joinville. O material foi retirado de tanques de decantação e se encontrava sob a forma de lama, apresentando teor de umidade aproximado de 20 %. O resíduo foi inicialmente seco ao ar livre por 48 horas resultando em um material na forma de torrões, em seguida foi seco em estufa a 70 °C por 24 horas e posteriormente foi destorroado em moinho de bolas em ciclos de 4 minutos e passado em peneira com abertura de 2 mm para retenção de impurezas. Após esse tratamento o material na forma de um pó fino apresentou massa específica (NM 23 / 2000) de 2,73 g/ cm³.

No CAR devido a grande quantidade da presença de partículas finas (materiais cimentícios) não se dispensa grande atenção aos agregados miúdos. Sendo normalmente utilizada a areia natural como agregado miúdo, a qual pode variar dentro de toda a sua faixa granulométrica (MARTINS,2005). A areia utilizada foi retirada de rio da região de Joinville.

A literatura recomenda que para que se obtenham ótimas resistências à compressão em CAR a Dimensão Máxima Característica (DMC) do agregado graúdo, deve ser mantida entre 9,5mm e 12,5mm. As características da brita utilizada encontravam-se dentro desta faixa recomendada.

Visando obter um concreto com resistência mínima acima de 50 MPA aos 28 dias de idade optou-se pela utilização do cimento pozolânico de alta resistência inicial, o CP V – ARI - RS.

Dentre vários tipos de aditivos existentes os superplastificantes são indispensáveis na produção do CAR devido às baixas relações água/aglomerante. Os aditivos

superplastificantes atuam no concreto dispersando as partículas de cimento, as quais apresentam grande tendência a flocular quando em contato com a água de amassamento (MARTINS,2005). Quanto à sua composição química os aditivos podem ser à base de: naftalenos, melamínicos, lignosulfonatos e policarboxilatos, estes últimos são também denominados como de terceira geração. Eles possuem uma maior capacidade de ação na dispersão dos materiais aglomerantes, sendo na atualidade os mais indicados para a produção de CAR. Nos CAD a dosagem de superplastificante é em geral maior que do que a recomendada pelos fabricantes, devendo ser definida através de misturas experimentais. A faixa usualmente empregada em CAD é de 1% a 4% da solução do aditivo (sólidos + água) em relação à massa de cimento (MALHOTRA, 1998). Para a pesquisa foi utilizado um aditivo superplastificante de 3º geração cujo nome comercial é Glenium 51.

A água utilizada foi a fornecida pela concessionária local. Não foram utilizadas neste estudo adições minerais normalmente usadas em CAR que atuam efetivamente no aumento da resistência e na densificação da matriz, tais como sílica ativa, cinza de casca de arroz, escória de alto forno, cinza volante entre outras, visto que o objetivo é avaliar o aumento da resistência dos concretos com a incorporação do resíduo de mármore e granito e as adições minerais iriam influenciar nesta avaliação.

Foi desenvolvido um método próprio de dosagem para os concretos onde o abatimento não foi fixado como parâmetro e sim avaliado para cada dosagem. Os valores mantidos fixos foram: a relação água / cimento (a/c), a quantidade do agregado graúdo e a quantidade de cimento. Os valores variáveis foram: a quantidade de resíduo que foi incorporado como substituição de parte do agregado miúdo e as quantidades de superplastificante, estas foram determinadas na porcentagem da massa total do superplastificante (água + teor de sólidos) em relação à massa do cimento, porém, considerou-se a água contida no superplastificante como parte da água de amassamento. As quantidades de superplastificante foram determinadas iniciando pela quantia mínima necessária para que fosse possível a moldagem dos concretos nos corpos de prova.

Para cada dosagem (mistura) dos concretos foi necessário corrigir a umidade da areia, pois a mesma estava em local aberto, essa correção foi feita pelo método do frasco de Chapman (NBR 9775/1987). Inicialmente foram dosados os concretos de referência sem o resíduo somente com a adição de superplastificante indicado como SP. A “tabela 1” mostra os traços para os concretos de referência. A misturas denominadas pela letra A caracterizam os concretos de referência, e os números 1, 2 e 3 a quantidade de superplastificante em porcentagem, respectivamente 1,5%, 1,8% e 2%. A relação água/ cimento está indicada como A/C.

Tabela 1 - Traços em peso dos concretos de referência.

RMG (%)	Misturas	Cimento	Areia	RMG	Brita	A / C	SP(%)
0	A1	1	2,5	-	3	0,4	1,5
	A2						1,8
	A3						2,0

Para a dosagem dos concretos com RMG efetuou-se o cálculo dos volumes das quantidades de areia e resíduo para a adequação do volume total de agregado miúdo pelas massas específicas, de modo que o traço se mantivesse constante. Na tabela 2 estão os traços para os concretos com RMG. As misturas denominadas pelas letras B, C e D indicam os concretos com resíduo, respectivamente 5%, 10% e 15% de RMG.

Tabela 2 – Traços em peso dos concretos com RMG

RMG (%)	Misturas	Cimento	Areia	RMG	Brita	A / C	SP (%)
5	B1	1	2,38	0,125	3	0,4	1,5
	B2						1,8
	B3						2,0
10	C1	1	2,26	0,250	3	0,4	1,5
	C2						1,8
	C3						2,0
15	D1	1	2,14	0,375	3	0,4	1,5
	D2						1,8
	D3						2,0

Os concretos foram produzidos em uma betoneira de eixo inclinado e tambor giratório com capacidade para 120 l.

A ordem de colocação dos materiais na betoneira obedeceu a seguinte seqüência:

1. 100% do agregado graúdo juntamente com 30 % da água - mistura por 1 minuto
2. 100% do cimento com os 70% restantes da água - mistura por 2 minutos
3. 70% do superplastificante - mistura por 2 minutos e parada por 2 minutos
4. 100% da Areia e os 30% restantes do superplastificante - mistura por 3 minutos
5. 100% do resíduo – mistura por 3 minutos, fechando o ciclo com um tempo total de 13 minutos.

O tempo de mistura para os concretos de alta resistência é maior que para concretos convencionais devido ao caráter tixotrópico destes concretos que demanda uma maior energia de amassamento implicando em misturar o concreto por mais tempo na betoneira, para se obter a homogeneidade necessária (AGUADO E OLIVEIRA *apud* LOPES, 1999).

Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de 100 x 200 mm a fim de medir as resistências à compressão aos 7 e aos 28 dias. Após cada mistura foi efetuada a medida do abatimento pelo tronco de cone NBR 7223(1998). Os valores do abatimento variaram de 0 a 25 mm, devido ao baixo valor do abatimento todas as dosagens foram compactadas em mesa vibratória, os tempos de vibração variaram de 1,5 minutos para abatimentos de 15 mm até 25mm e de 2,0 minutos para abatimentos de zero até 12 mm, a tabela 3 apresenta os valores do abatimento para cada dosagem.

Os corpos-de-prova foram moldados em conformidade com a NBR 5738 (1994) e desmoldados 24 horas após a moldagem. Após a desmoldagem as amostras foram imersas em água em um tanque de cura até a idade de 7 dias e 28 dias.

Todos os corpos de prova foram capeados com enxofre para serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão.

O ensaio para a determinação da resistência à compressão foi executado em uma prensa EMIC PC200 obedecendo as especificações da NBR 5739 (1994).

Tabela 3 – Valores do abatimento

Concretos	RMG (%)	SP (%)	Nº. das Misturas	Abatimento (mm)
Referência	0	1,5	A1	5
		1,8	A2	15
		2,0	A3	25
Com resíduo	5	1,5	B1	5
		1,8	B2	10
		2,0	B3	18
	10	1,5	C1	5
		1,8	C2	10
		2,0	C3	15
	15	1,5	D1	5
		1,8	D2	10
		2,0	D3	10

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A tabela 4 apresenta os resultados das resistências à compressão encontradas para os concretos de referência aos 7 dias e aos 28 dias de idade. Enquanto a tabela 5 apresenta os resultados das resistências à compressão encontradas para os concretos com o subproduto aos 7 dias e aos 28 dias de idade.

Tabela 4 – Resistência à compressão dos concretos de referência

Especificação dos concretos			Resistência a compressão					
			7 dias			28 dias		
RMG (%)	SP (%)	Misturas	CPs	Unitário	Média	CPs	Unitário	Média
				(MPA)	(MPA)		(MPA)	(MPA)
0	1,5	A1	A1a	42,50	42,10	A1d	55,73	53,15
			A1b	43,44		A1e	50,99	
			A1c	40,35		A1f	52,73	
0	1,8	A2	A2a	39,40	40,27	A2d	49,54	51,93
			A2b	41,12		A2e	55,71	
			A2c	40,30		A2f	50,54	
0	2	A3	A3a	39,50	40,30	A3d	48,73	55,37
			A3b	40,67		A3e	60,53	
			A3c	40,74		A3f	56,86	

Tabela 5 - Resistência à compressão dos concretos com RMG

Especificação dos concretos			Resistência a compressão						
			7 dias			28 dias			
RMG (%)	SP (%)	Misturas	CPs	Unitário	Média	CPs	Unitário	Média	
				(MPA)	(MPA)		(MPA)	(MPA)	
5	1,5	B1	B1a	42,31	44,92	B1d	58,38	59,69	
			B1b	47,32			B1e		60,84
			B1c	45,12			B1f		59,85
5	1,8	B2	B2a	45,15	45,83	B2d	60,05	60,32	
			B2b	47,49			B2e		61,10
			B2c	44,85			B2f		59,80
5	2	B3	B3a	42,80	42,54	B3d	58,12	56,77	
			B3b	41,05			B3e		58,20
			B3c	43,78			B3f		53,98
10	1,5	C1	C1a	50,18	50,72	C1d	58,98	59,74	
			C1b	50,21			C1e		60,73
			C1c	51,76			C1f		59,50
10	1,8	C2	C2a	44,84	44,81	C2d	66,62	61,15	
			C2b	44,30			C2e		57,67
			C2c	45,30			C2f		59,16
10	2	C3	C3a	44,53	44,69	C3d	63,53	64,31	
			C3b	44,12			C3e		63,72
			C3c	45,42			C3f		65,67
15	1,5	D1	D1a	51,98	50,54	D1d	65,67	61,51	
			D1b	51,39			D1e		58,69
			D1c	48,25			D1f		60,17
15	1,8	D2	D2a	48,74	48,56	D2d	62,06	61,47	
			D2b	49,14			D2e		59,27
			D2c	47,80			D2f		63,07
15	2	D3	D3a	50,21	49,53	D3d	63,47	64,38	
			D3b	49,10			D3e		63,70
			D3c	49,29			D3f		65,98

De acordo com os resultados apresentados nas tabelas 4 e 5 em relação à resistência à compressão, observa-se que com a idade de 7 dias todas as misturas de concretos contendo RMG os valores médios apresentaram melhor desempenho do que os concretos de referência, sendo que as misturas nº C1 e nº D1 contendo respectivamente 10% e 15% de RMG e 1,5% de superplastificante apresentaram resistências maiores, atingindo valores acima de 50 MPA. Com relação às resistências dos concretos aos 28 dias de idade observa-se que os concretos com a incorporação de RMG apresentaram valores significativamente maiores que os de referência, apesar destes também atingirem valores de resistência acima de 50 MPA.

Nas figuras 1 a 3 pode-se observar a variação da resistência à compressão na idade de 28 dias para os 3 corpos de prova de cada mistura em relação às incorporações de resíduo juntamente com os valores dos concretos de referência.

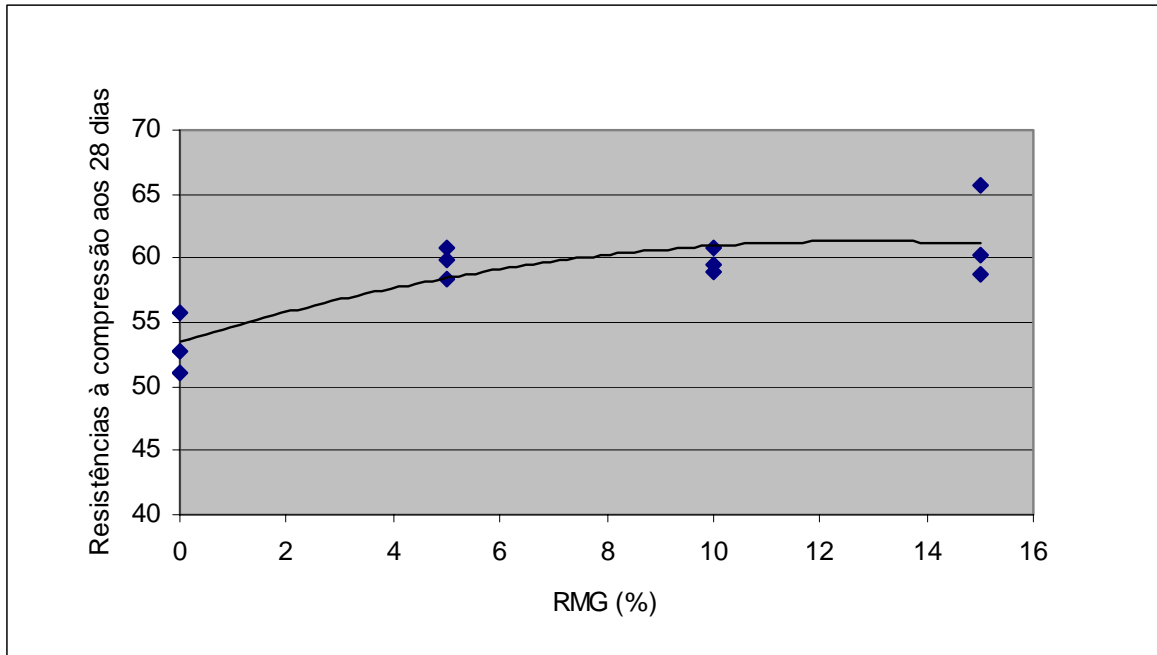


Figura 1 – Resistência em função da variação do RMG para SP 1,5%

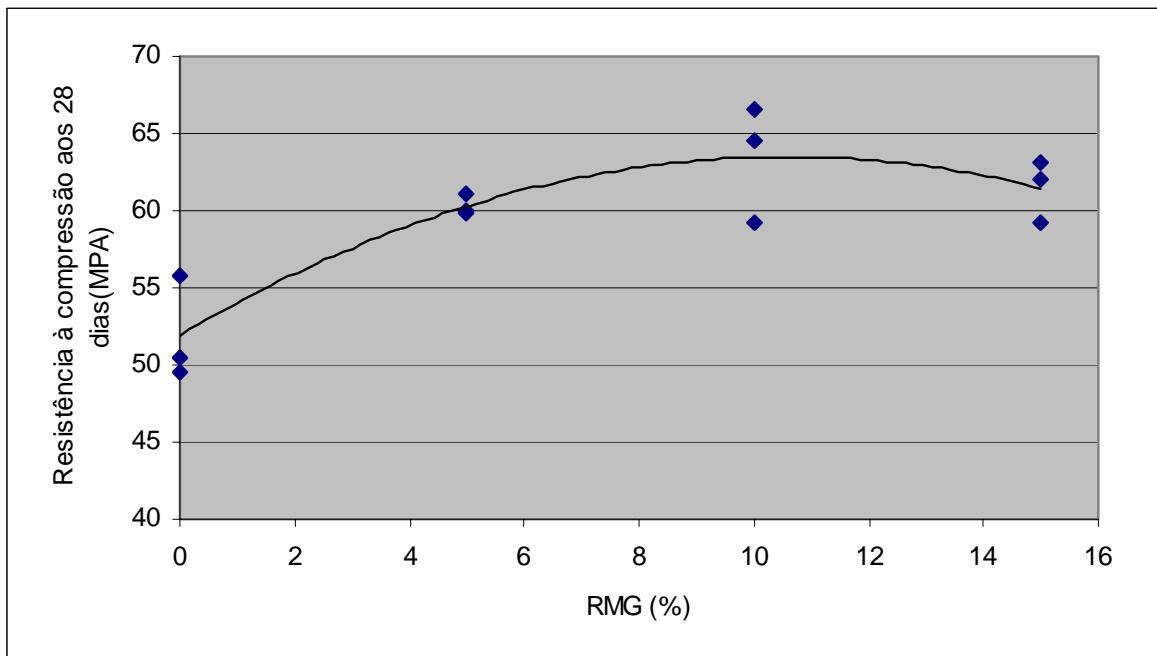


Figura 2 - Resistência em função da variação do RMG para SP 1,8%

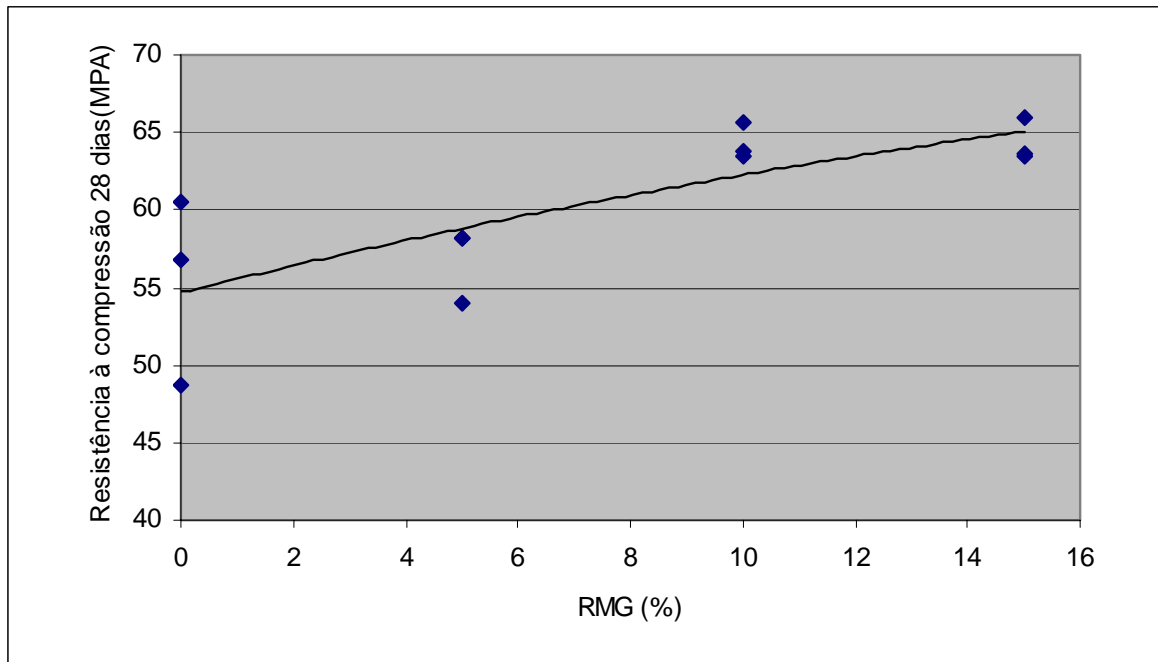


Figura 3 - Resistência em função da variação do RMG para SP 2 %

Na figura 4 observa-se a variação da resistência considerando as médias dos corpos de prova.

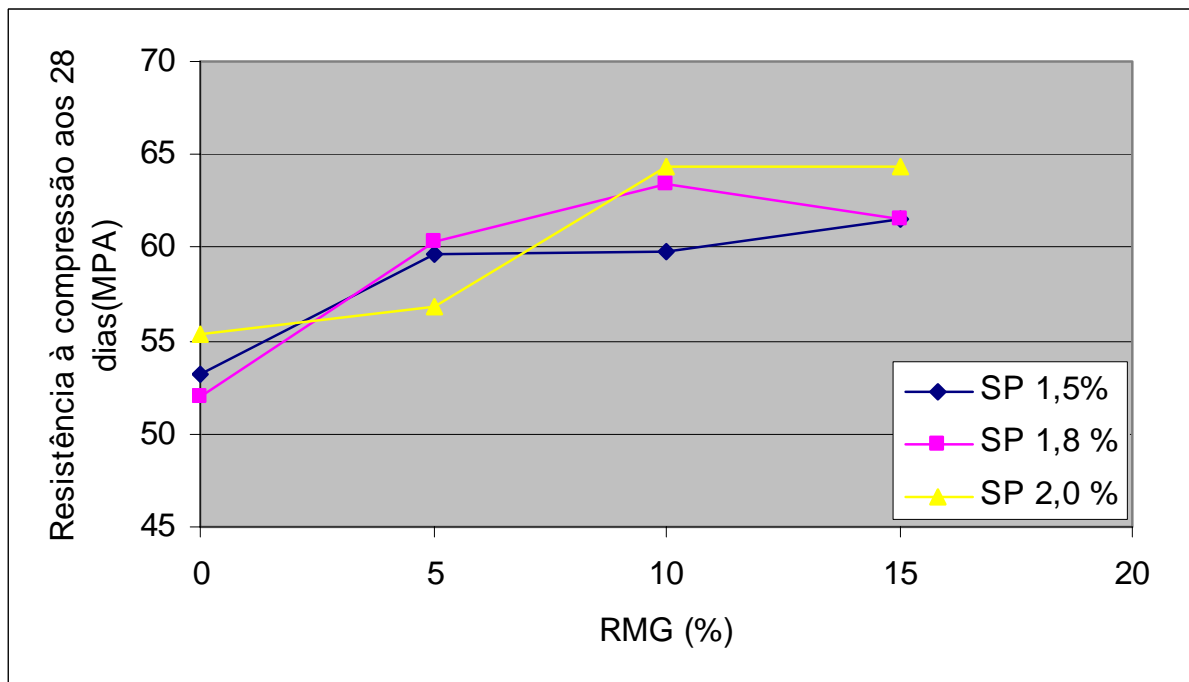


Figura 4 – Média das Resistências em função da variação do RMG para as 3 variações de SP

O resultado de uma medição (RM) expressa propriamente o que se pode determinar com segurança sobre o valor do mensurando, no nosso caso é a resistência à compressão, a partir da aplicação do sistema de medição sobre esta. É composto de duas parcelas:

- O resultado base (RB) que corresponde ao valor central da faixa onde deve situar-se o valor do mensurando (resistência à compressão);
- e a incerteza de medição (IM), que exprime a faixa de dúvida ainda presente no resultado, provocada pelos erros presentes no equipamento de ensaio (Prensa) e/ ou variações do mensurando (resistência à compressão). Assim o resultado de medição (RM) deve ser sempre expresso por: $RM = (RB \pm IM)$, onde RB são os resultados das resistências à compressão e o IM é composto pela variação do equipamento definida em 0,3 % somado aos valores em módulo da dispersão das medidas de resistência à compressão para cada corpo de prova.

As figuras 5 a 7 apresentam a faixa de valores dos resultados encontrados das resistências em função da quantidade de RMG considerando a incerteza da medição.

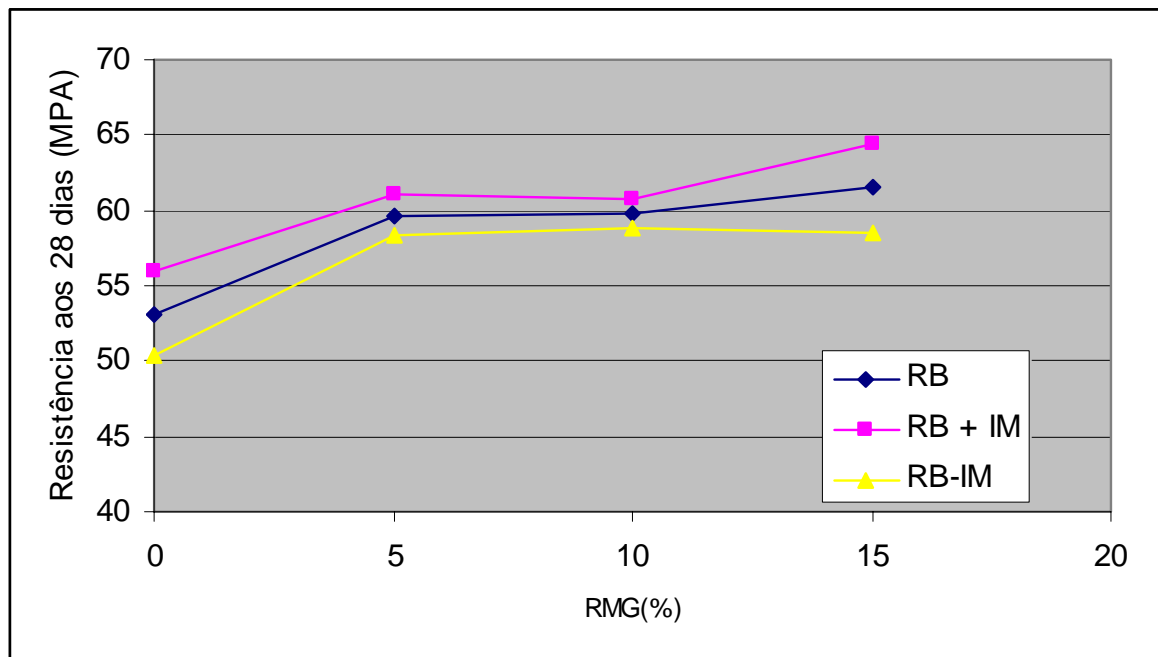


Figura 5 – Faixa de valores entre RB e IM para quantidades de SP =1,5%

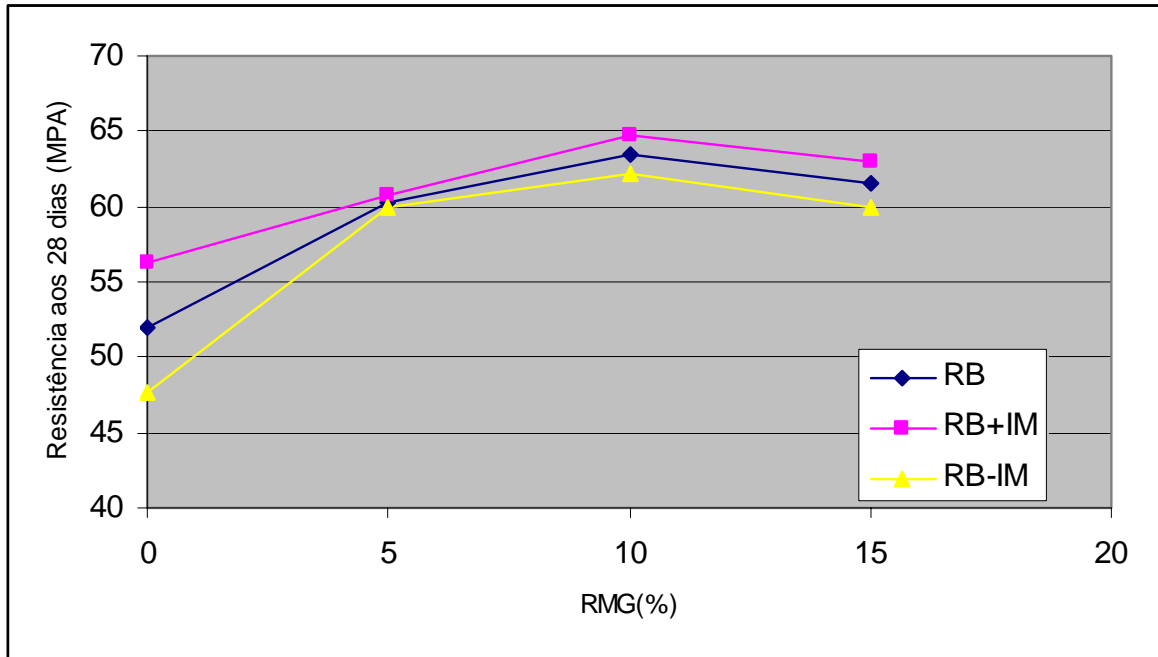


Figura 6 – Faixa de valores entre RB e IM para quantidades de SP =1,8%

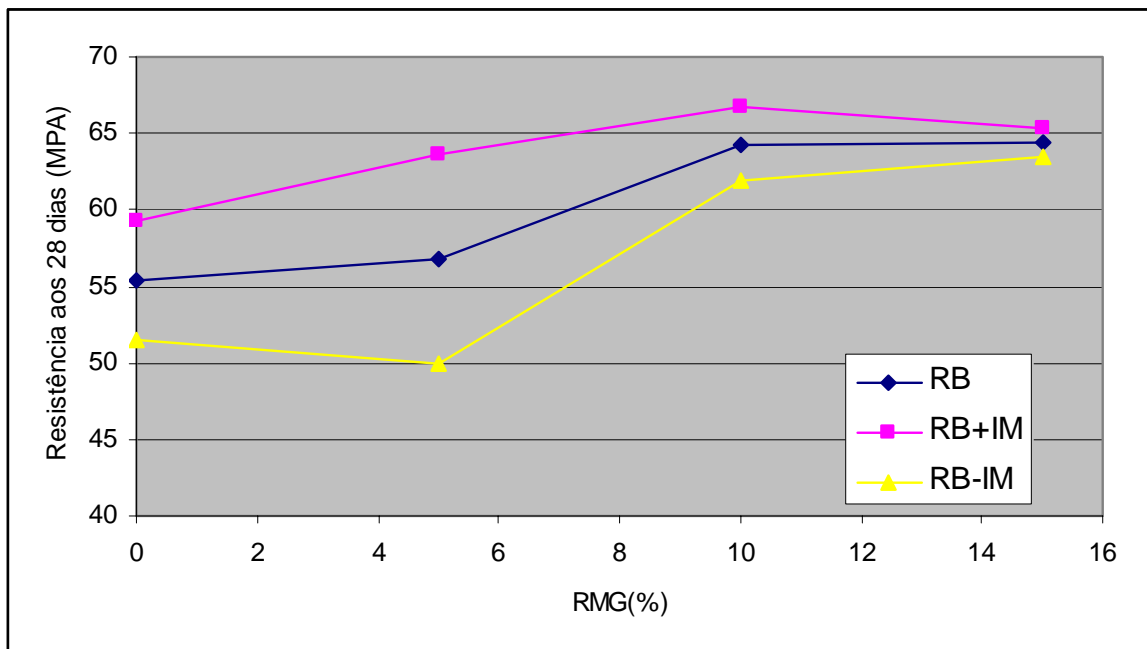


Figura 7 – Faixa de valores entre RB e IM para quantidades de SP =2%

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados experimentais deste trabalho podem-se chegar as seguintes considerações:

- As misturas de concreto com a incorporação do subproduto do corte de mármore e granito apresentaram no estado fresco maior coesão e consistência em consequência do aumento da quantidade de finos;
- O uso do subproduto do corte de mármore e granitos como substituição de parte do agregado miúdo em concretos não trouxe nenhum prejuízo para a resistência à compressão;
- Com a incorporação do subproduto RMG em concretos é possível a obtenção de CAR - concretos de alta resistência;
- A resistência à compressão dos concretos com RMG apresentou ganhos significativos em relação aos concretos sem o subproduto em todas as misturas estudadas;
- Além de possibilitar um destino sustentável para o subproduto do corte e acabamento de mármore e granito, contribuindo significativamente para a minimização dos danos ambientais causados pelos mesmos.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738: **Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto**, Rio de Janeiro:ABNT, 1994.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NM 23: **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro:ABNT, 1998.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9776: **Agregados Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 53: **Agregados Determinação de massa específica de agregados graúdos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7223 – NM 67: **Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, ABNT,1998.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8953: **concreto para fins estruturais Classificação por grupos de resistência; Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT,1992.

(ACI) AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Committe 363. State-of-the-art report of the high-strength concrete**, ACI 363R-92,(Reapproved 1997). ACI Manual of concrete practice 2001. ACI, Detroit (USA), 2001, 55p.

AİTCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. Editora Pini – São Paulo,2000.

ÂNGULO, S.C.; ZORDAN, S.E.; JOHN, V.M. **Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. IV Seminário Desenvolvimento



Sustentável e a Reciclagem na construção civil - materiais reciclados e suas aplicações. CT206 - IBRACON. São Paulo - SP. 2001.

BARDELLA, P,S; CAMARINI,G. **Desenvolvimento sustentável na construção civil. CT 2006-** Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP- disponível em: www.cori.unicamp.br

LOPES, A.N.M. **Avaliação comparativa de concretos com e sem sílica ativa para resistências entre 50 e 65 MPA.** Dissertação de mestrado - Universidade de Brasília. Brasília, 1999.

MARTINS, I.R.F. **Concreto de Alto Desempenho com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu .** Dissertação de mestrado - Universidade estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. Ilha Solteira, 2005.

MALHOTRA, V.M. **Innovative applications of superplasticizers for producing high-performance concrete.** Congresso Brasileiro do concreto REIBRAC/ IBRACON 40 – Rio de Janeiro, 1998.

MOTHE FILHO, H.F.; POLIVANOV, H.; MOTHE, S.G. **Reciclagem dos resíduos sólidos de rochas ornamentais.** Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Vol 28-2, 139-151/ 2005.

MOURA, C.B.; PAGNUSSAT, D.T.; TUTIKIAN, B.F.; MASUERO, A.B.; DAL MOLIN, D.C.C. **Avaliação de concretos auto adensáveis dosados pelo método Tutikian incorporando resíduos de serragem de mármore e granitos.** 48º Congresso Brasileiro do concreto - Rio de Janeiro, 2006.