



FAPAC - Faculdade Presidente Antônio Carlos.  
INSTITUTO TOCANTINENSE PRES. ANTÔNIO CARLOS PORTO S/A  
Rua 02, Qd. 07 - Jardim dos Ypês - Porto Nacional - TO - CEP 77.500-000  
CX Postal 124 - Fone: (63) 3363 - 9600 - CNPJ - 10.261.569/0001 - 64  
www.itpacporto.com.br

## **A INFLUÊNCIA DO SEIXO ROLADO NA TRABALHABILIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS ESTRUTURAIS**

### **THE INFLUENCE OF THE BOULDER IN WORKABILITY AND COMPRESSIVE STRENGTH OF STRUCTURAL CONCRETE**

Jorge Luis Cury<sup>1</sup>

Taís Gomes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Civil – Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos

<sup>2</sup> Professora Orientadora, Mestre em Engenharia Civil – Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos

**RESUMO:** Este trabalho busca analisar a influência exercida pela substituição gradativa da brita por seixo rolado na trabalhabilidade e resistência à compressão de concretos estruturais. Utilizar seixo rolado como agregado graúdo em substituição à brita é uma alternativa utilizada na região Norte do Brasil, em função da ausência de reservas de rochas propícias para esse fim, e dos elevados custos das pedras britadas de granito e gnaiss. Portanto, o estudo de sua influência é de grande relevância para a engenharia. A metodologia utilizada fundamentou-se em realizar um estudo de caso utilizando agregados locais (areia quartzosa, seixo rolado e pedra britada de granito) para moldagens dos corpos de prova, divididos em lotes de concretos produzidos com dois traços de referência diferentes e, quatro configurações de agregado graúdo para cada traço. A trabalhabilidade foi obtida com a medição dos slump de cada lote de concreto e, a resistência característica à compressão dos concretos, individuais e médias, foram obtidas durante os rompimentos ocorridos aos 14 e aos 28 dias após a moldagem. As maiores resistências foram atingidas por lotes com substituição de brita por seixo, reduzindo vazios, aumentando assim, a compacidade e trabalhabilidade desses concretos. Isso é demonstrado nos rompimentos aos 28 dias, onde nenhum dos lotes mais resistentes foram produzidos apenas com pedra britada, assim como nem todos os lotes produzidos apenas com seixo rolado esteve entre os menores resultados. Entre todos, nenhum dos lotes obteve resistência média inferior a calculada para o seu respectivo traço de dosagem (32 MPa).

**Palavras chave:** Pedra britada. Concreto estrutural. Seixo rolado. Trabalhabilidade.

**ABSTRACT:** This work aims to analyze the influence exerted by the gradual replacement of crushed stone with the workability and compressive strength of structural concretes. Using rolled pebble as a large aggregate in replacement of crushed stone is an alternative used in the northern region of Brazil due to the absence of rock reserves suitable for this purpose and the high costs of granite and gneiss crushed stones. Therefore, the study of its influence is of great relevance for engineering. The methodology used was based on a case study using local aggregates (quartz sand, rolled pebbles and granite crushed stone) for moldings of the specimens divided into lots of concrete produced with two different reference marks and four configurations of large aggregate for each trace. The workability was obtained by measuring the slump of each batch of concrete and the characteristic resistance to compression of the individual and medium concretes were obtained during disruptions occurred at 14 and 28 days after the molding. The highest strengths were achieved by batch with replacement of crushed stone, reducing voids, thus increasing the compactness and workability of these concretes. This is demonstrated in the 28 day breaks, where none of the sturdiest batches were produced only with crushed stone, as not all batches produced with rolled pebbles alone were among the lowest. Among all, none of the batches obtained average resistance lower than that calculated for their respective dosing trace (32 MPa).

**Keywords:** Crushed stone. Structural concrete. Boulder. Workability.

## 1 INTRODUÇÃO

O estudo da influência do seixo rolado na trabalhabilidade e resistência de concretos estruturais é um trabalho de grande relevância para a engenharia. Isso porque razões econômicas, logísticas e práticas, fazem do seixo rolado uma alternativa para substituição total ou parcial da brita como agregado graúdo em concretos estruturais. A respeito destes motivos, Fusco (2012) afirma que a maior parte do volume de materiais empregados no concreto armado (pedra e areia) é obtida de fontes locais, não muito distantes da obra. Quando esta disponibilidade de materiais locais adequados não existe, como nas terras baixas de grandes áreas da Amazônia, o emprego do concreto pode ceder lugar ao aço ou a madeira, embora a ausência de pedra britada possa aí ser resolvida pelo uso de seixos rolados, desde que adequadamente resolvido o problema de se evitar a reação álcali-agregado.

Cabe avaliar se essa substituição seria viável do ponto de vista técnico. Para responder a essa questão, foi realizado experimento prático com a moldagem de corpos de prova de concreto contendo 25%, 75% e 100% de substituição da brita por seixo rolado, nas relações a/c de 0,40 e 0,50.

Os rompimentos dos corpos de prova forneceram as resistências médias características do concreto para cada lote aos 14 e aos 28 dias após moldados. Ao realizar o *slump test* de cada lote produzido, foi possível mensurar e analisar a trabalhabilidade dos concretos produzidos.

## 2 REVISÃO

### 2.1 SEIXO ROLADO

Alguns agregados como areias e seixos são obtidos através da extração do leito dos rios, por meio de dragas ou de minas, no caso das areias, podendo ser beneficiados por lavagem e classificação (TARTUCE; GIOVANNETTI, 1990).

De acordo com Sanchez (2008) o quartzito, também chamado de seixo ou seixo rolado (quando extraído do leito de rios) é uma rocha metamórfica da qual o nome remete ao seu componente mais abundante: o quartzo, que normalmente se associa a uma mica muscovita. A presença destes dois minerais determina a cor clara e o brilho característico desta rocha, por isso, é um tipo litológico bastante difundido que pode assumir denominações locais conforme sua composição.

Cerca de 80% a 90% do volume do concreto é composto de agregados onde, suas características físicas como volume, tamanho e distribuição dos poros, são mais importantes que suas características mineralógicas de suas fases sólidas (METHA E MONTEIRO, 2008).

Conforme Freitas JR (2013), a porosidade do agregado interfere na absorção de água da pasta do cimento, absorvendo água e deixando a região de aderência do agregado com a pasta de cimento seca. Entretanto, agregados naturais como areias e seixos rolados possuem superfície arredondadas, lisas e pouco porosas.

Neville (1997) afirma que concretos moldados utilizando como agregados seixos arredondados e lisos apresentam menor resistência em relação a concretos produzidos com agregados britados.

De acordo com IBRACON (2007), concretos e argamassas produzidos com agregados (grãos) com granulometria contínua produzem concretos mais trabalháveis e menor consumo de cimento, enquanto, os produzidos com agregados de granulometria descontínua apresentam maiores resistências e consomem mais

cimento. Os concretos que utilizam agregados com granulometria uniforme apresentam maior consumo de água.

## 2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) é a mais importante propriedade do concreto, tornando prática e viável sua utilização por apresentar valores diferentes entre concretos, sendo diretamente dependentes do fator água cimento utilizado. Quanto maior o fator a/c menor será o  $f_{ck}$  (resistência). Portanto, para garantir a manutenção do  $f_{ck}$ , o fator a/c deve ser estabelecido ainda na fase de projeto, dependendo também de fatores como disposição de dosador de água, correção de umidade, vibração adequada do concreto e controle da cura para que se obtenha o  $f_{ck}$  desejado (NETO, 2013).

De acordo com ABNT (2014), o concreto é um material muito resistente à compressão. Porém o mesmo não ocorre com relação à tração. A resistência à tração direta ( $f_{ct}$ ) pode ser considerada igual a 0,9 (90 %) da tração indireta ( $f_{ct,sp}$ ) ou ainda, 0,7 (70 %) da resistência do concreto à tração na flexão ( $f_{ct,f}$ ) e, na falta de ensaios para obtenção da resistência à tração direta ( $f_{ct,sp}$ ) e resistência à tração na flexão ( $f_{ct,f}$ ), pode ser avaliado o seu valor médio ou característico.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do estudo foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento Portland composto com pozolana CP II-Z-32;
- Água;
- Agregado miúdo (areia natural quartzosa);
- Agregado graúdo (pedra britada de granito);
- Agregado graúdo (seixo rolado).

Os agregados utilizados na preparação dos concretos utilizados neste trabalho foram lavados, peneirados, selecionados e enviados para secagem em estufa por 24 horas à temperatura de 105 °C, conforme NBR 5738 (2015). A seguir, na Figura 1, é possível observar parte dos agregados sendo secos em estufa.



**Figura 1** - Secagem de agregados em estufa.

**Fonte:** Arquivo Próprio (2018).

Em seguida, os agregados foram submetidos aos ensaios de determinação da massa unitária (ABNT NBR 7251, 1982), massa específica do agregado miúdo (ABNT NBR 9776, 1987), massa específica do agregado graúdo (ABNT NM 53, 2009), e ensaio granulométrico (ABNT NM 248, 2003).

Também foi realizado o ensaio para a determinação de impurezas orgânicas do agregado miúdo, neste caso, a areia grossa (ABNT NM 49, 2001).

Todos os concretos foram moldados utilizando cimento CP II-Z 32, por este tipo de cimento combinar bons resultados de baixo calor de hidratação, e apresentar maior disponibilidade e menor custo na região. Foi utilizada água doce, tratada e livre de sulfatos e impurezas.

Os resultados dos ensaios de caracterização para o cimento e para os agregados (brita 2, seixo rolado e areia grossa) utilizados para moldagem dos traços são detalhados nas Tabelas 1 e 2 a seguir.

Tabela 1 – Características físicas do cimento.

<b>Material</b>	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Tempo de início de pega (min)	Tempo de final de pega (min)	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	Finura (%)
<b>CP II - Z 32</b>	2,9	280	375	≥ 32	7,003

Fonte: Arquivo Próprio (2018).

Tabela 2 – Características físicas dos agregados.

<b>Material</b>	<b>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa Unitária (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Diâmetro Máximo (mm)</b>	<b>Módulo de Finura</b>
<b>Pedra Britada (Granito)</b>	2,632	1,465	25	7,12
<b>Seixo Rolado (Quartzito)</b>	2,614	1,639	25	7,06
<b>Areia (Quartzosa)</b>	2,611	1,635	4,8	3,2

Fonte: Arquivo próprio (2018).

### 3.1 DOSAGEM E MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Caracterizados os materiais, os traços de referência foram calculados para a resistência característica à compressão do concreto ( $f_{ck}$ ) de 25MPa aos 28 dias, resultando, por meio da equação recomendada pela NBR 12655 (ABNT, 2015), que leva em conta as condições de preparo do concreto (materiais secos e medidos em massa), em uma resistência média de dosagem de 32MPa a ser alcançada aos 28 dias. O abatimento de tronco de cone (slump test) estabelecido para os traços de referência (100% brita) foi fixado em  $60 \pm 10$ mm.

Os traços unitários de referência, com relação água/cimento de 0,40 e 0,50, respectivamente, foram determinados utilizando o método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), e serviram de referência para os demais traços contendo substituições parciais e totais.

O primeiro traço de referência obtido para 100% brita e fator água/cimento de 0,40 foi 1:1,46:0,95:0,40 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: relação a/c). Isso equivaleu ao consumo de 487,5 Kg de cimento, 711,75 Kg de areia grossa, 463,12 Kg de agregado graúdo e, 195 Kg de água para a produção de cada m<sup>3</sup> de concreto. Esse traço foi utilizado para moldagem de todos os lotes de seu respectivo fator água/cimento.

O segundo traço de referência obtido para 100% de brita e fator água/cimento de 0,50 foi 1:2,05:1,89:0,50. Portanto, para cada m<sup>3</sup> de concreto são consumidos 390 Kg de cimento, 799,5 Kg de areia grossa, 737,1 Kg de agregado graúdo e, 195

Kg de água. Esse traço foi utilizado para moldagem de todos os lotes de seu respectivo fator água/cimento.

Para comparação e análise, foram utilizados três teores de substituição da brita por seixo rolado (25%, 50% e, 100% de substituição de brita por seixo rolado).

Com a finalidade de evitar quaisquer tipos de interferência nos resultados, não foram utilizados aditivos químicos nos concretos moldados neste trabalho. Para a preparação das misturas, os materiais foram separados e pesados em massa, seguindo o traço base obtido.

Para prevenir a absorção de água, a betoneira (de eixo inclinado e capacidade para 290L) foi sempre imprimada antes da execução dos traços e a ordem de colocação dos materiais seguiu as recomendações do IPT: 80% da água, agregado graúdo, agregado miúdo, cimento, e depois o restante da água com o aditivo, quando necessário, deixando a betoneira fazer a homogeneização por 5 a 7 minutos.

Após a mistura, verificou-se a coesão e a consistência do concreto, com a realização do ensaio de slump test (ABNT NM 67, 1998). Um tronco de cone normatizado de 30 cm de altura deve ser preenchido por três camadas do concreto, e em cada uma delas devem ser aplicados 25 golpes com uma haste metálica. Após a compactação verificou-se a superfície do molde e uma desempenadeira foi utilizada para rasar a superfície.

O molde foi cuidadosamente retirado na direção vertical, e o abatimento do concreto foi medido com régua metálica, através da diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de-prova, verificando quanto a mistura adensou em milímetros (Figura 2).

Enquanto para os traços de referência o abatimento foi fixado em  $60 \pm 10$  mm, para os demais traços com substituição esse valor apresentou variações, comparadas posteriormente.

Ao medir-se o *slump* de cada lote moldado, foi possível mensurar a trabalhabilidade do concreto estrutural à medida que a proporção de seixo rolado no concreto estrutural aumentava.

Após *slump test*, o concreto foi colocado em moldes cilíndricos de 10x20 cm, adensado com vibrador de imersão do tipo agulha para retirar o ar e diminuir vazios, e coberto com película isofilme para minimizar a perda de água.

Depois de 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e imersos em tanque com água e cal para cura saturada (ABNT NBR 5739, 2007) até as idades de rompimento, 14 e 28 dias, como mostra a Figura 3.



**Figura 2** – Ensaio *Slump test* do lote E (60 mm).

**Fonte:** Arquivo próprio (2018).



**Figura 3** - Cura dos corpos de prova imersos em água com cal.

**Fonte:** Arquivo próprio (2018).

No total, foram criados oito lotes de concreto classificados em ordem alfabética, conforme Tabela 3, sendo os quatro primeiros lotes para concretos com  $f(a/c) = 0,40$  e os quatro últimos para o  $f(a/c) = 0,50$ . Os lotes A e E são os lotes dos traços de referência.

Tabela 3 - Descrição dos lotes de concreto conforme o fator água cimento.

<b>DESCRIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS LOTES</b>		
	<b>F(a/c) = 0,40</b>	<b>F(a/c) = 0,50</b>
<b>100% PEDRA BRITADA (REFERÊNCIA)</b>	<b>A</b>	<b>E</b>
<b>75% PEDRA BRITADA, 25% SEIXO</b>	<b>B</b>	<b>F</b>
<b>50% PEDRA BRITADA, 50% SEIXO</b>	<b>C</b>	<b>G</b>
<b>100% SEIXO</b>	<b>D</b>	<b>H</b>

Fonte: Arquivo próprio (2018).

Para cada lote foram moldados dez corpos de prova onde, cinco deles foram rompidos aos 14 dias, e cinco deles aos 28 dias após sua moldagem. Portanto, foram moldados, no total, oitenta corpos de prova.

### 3.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Todos os corpos de prova foram retirados do tanque no dia do ensaio, secos ao ar e posteriormente capeados utilizando-se enxofre, atendendo a sequência de procedimentos para rompimento os corpos de prova estabelecida pela NBR 7215 (ABNT, 1997) e descritos e detalhados pela NBR 5738 (ABNT, 2015). A Figura 4 mostra o capeamento dos corpos de prova com enxofre enquanto a Figura 5 mostra o rompimento parcial de um dos lotes.



Figura 4 – Capeamento com enxofre

Fonte: Arquivo Próprio (2018).



Figura 5 – Rompimento de um dos lotes.

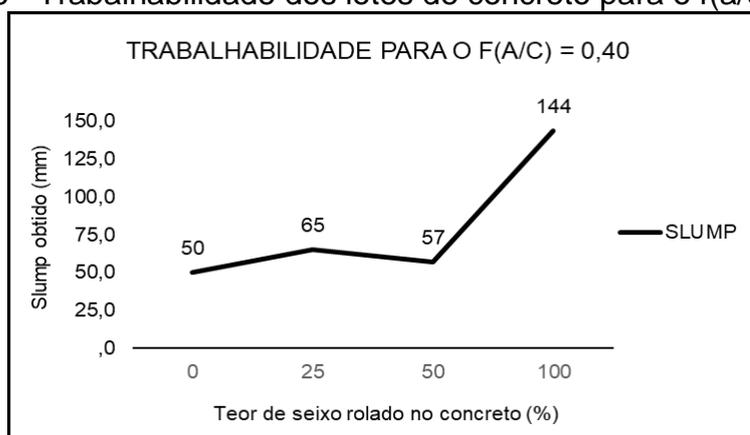
Fonte: Arquivo próprio (2018).

Na prensa, as amostras de concreto foram colocadas sob o prato inferior, com eixo do carregamento centralizado, e o equipamento transmitiu uma carga de compressão com velocidade de carregamento de 0,45 MPa/s sobre o corpo de prova, até a sua ruptura por cisalhamento. A tensão ou resistência à compressão é obtida dividindo a carga de ruptura pela área da sessão do corpo de prova em que foi aplicada (NBR 5739, 2007). Por se utilizar uma prensa hidráulica automática, a mesma já forneceu às tensões de ruptura ao final do ensaio.

#### 4 RESULTADOS

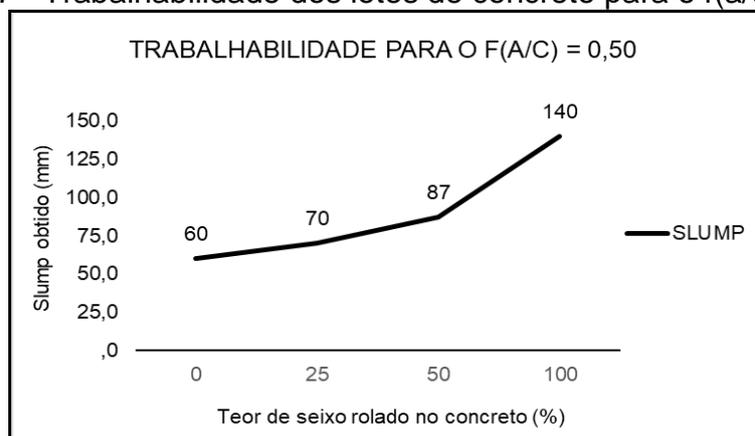
A seguir, as Figuras 6 e 7 apresentam o gráfico de trabalhabilidade dos concretos moldados com seus respectivos teores de substituição de brita por de seixo rolado para cada fator água/cimento.

Figura 6 - Trabalhabilidade dos lotes de concreto para o  $f(a/c) = 0,40$ .



Fonte: Arquivo próprio (2018).

Figura 7 - Trabalhabilidade dos lotes de concreto para o  $f(a/c) = 0,50$ .



Fonte: Arquivo próprio (2018).

Os resultados obtidos após os rompimentos de cada um dos corpos de prova aos 14 e aos 28 dias, assim como as médias de seus resultados são apresentados a seguir nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Resistência individual e média dos corpos de prova aos 14 dias

LOTE	RESISTÊNCIA MÉDIA AOS 14 DIAS (MPa)					MÉDIA (MPa)
LOTE A	CP 01	CP 02	CP 03	CP 04	CP 05	36,71
	31,58	36,87	38,45	37,41	39,26	
LOTE B	CP 11	CP 12	CP 13	CP 14	CP 15	35,44
	32,89	37,72	36,94	37,09	32,55	
LOTE C	CP 21	CP 22	CP 23	CP 24	CP 25	36,11
	35,24	37,97	32,18	38,02	37,12	
LOTE D	CP 31	CP 32	CP 33	CP 34	CP 35	28,18
	26,31	30,14	28,08	29,03	27,32	
LOTE E	CP 41	CP 42	CP 43	CP 44	CP 45	26,02
	23,55	25,94	27,89	26,39	26,33	
LOTE F	CP 51	CP 52	CP 53	CP 54	CP 55	25,97
	25,98	27,65	27,96	19,63	28,62	
LOTE G	CP 61	CP 62	CP 63	CP 64	CP 65	24,87
	23,78	24,14	25,1	26,15	25,19	
LOTE H	CP 71	CP 72	CP 73	CP 74	CP 75	26,38
	27,76	27,12	24,73	27,84	24,43	

Fonte: Arquivo próprio (2018).

Tabela 5 - Resistência individual e média dos corpos de prova aos 28 dias

LOTE	RESISTÊNCIA MÉDIA AOS 28 DIAS (MPa)					MÉDIA (MPa)
LOTE A	CP 06	CP 07	CP 08	CP 09	CP 10	43,36
	45,88	43,21	40,17	43,53	44,03	
LOTE B	CP 16	CP 17	CP 18	CP 19	CP 20	43,86
	41,64	41,30	46,30	44,52	45,52	
LOTE C	CP 26	CP 27	CP 28	CP 29	CP 30	43,12
	43,91	42,06	42,16	41,80	45,65	
LOTE D	CP 36	CP 37	CP 38	CP 39	CP 40	35,39
	36,28	38,24	33,74	36,59	32,08	
LOTE E	CP 46	CP 47	CP 48	CP 49	CP 50	30,03
	31,92	30,92	31,48	28,60	27,22	
LOTE F	CP 56	CP 57	CP 58	CP 59	CP 60	30,18
	31,57	31,98	29,12	32,08	26,13	
LOTE G	CP 66	CP 67	CP 68	CP 69	CP 70	28,03
	25,66	27,19	26,75	27,72	32,81	
LOTE H	CP 76	CP 77	CP 78	CP 79	CP 80	30,08
	29,52	31,75	29,98	29,34	29,79	

Fonte: Arquivo próprio (2018).

## 5 DISCUSSÃO

Para Bauer (2013), o componente mais importante da trabalhabilidade é a consistência, pois, possui características da mistura fresca que se relacionam com a mobilidade da massa e a coesão entre seus elementos, tendo como objetivo: uniformidade, compacidade e bom rendimento da execução.

Bauer (2013) afirma ainda que os tipos de mistura, transporte, lançamento, adensamento e também, as dimensões das peças a serem moldadas e o afastamento das armaduras influenciam diretamente na trabalhabilidade do concreto fresco, porém, de todos esses fatores afetam a trabalhabilidade, o mais importante é a consistência inadequada do concreto fresco.

Os resultados das Figuras 6 e 7 mostram que a trabalhabilidade do concreto aumenta na medida em que a brita é substituída pelo seixo rolado como agregado graúdo devido ao seixo rolado possuir forma mais arredondada e menos porosa do que a brita, absorvendo menos água da pasta de cimento. A única exceção ocorreu no lote C (fator água/cimento de 0,40) ao apresentar slump inferior ao lote anterior (B). Isso pode ter ocorrido devido à combinação das geometrias dos agregados (50% de seixo, 50% de brita) gerando uma argamassa pouco trabalhável. Entretanto, verifica-se que a adição de seixo tornou o concreto do lote C mais trabalhável do que o de referência, devido ao seu slump ainda ser superior ao slump do lote A que utilizou apenas brita como agregado graúdo.

Como pode ser observado na Figura 6, no lote A, o slump obtido atingiu a margem inferior de tolerância (50 mm) utilizando 100% de brita como agregado graúdo e fator água/cimento de 0,40, enquanto que no lote E, que se distingue do lote A apenas por possuir fator água/cimento 0,50, o slump obtido foi de 60 mm devido à maior plasticidade ocasionada pelo aumento do fator água/cimento neste lote.

Os lotes B e F moldados com 75% de brita e 25% de seixo rolado como agregado graúdo obtiveram slump de 65 e 70 mm, respectivamente, apresentaram melhora na trabalhabilidade nos dois fatores água/cimento.

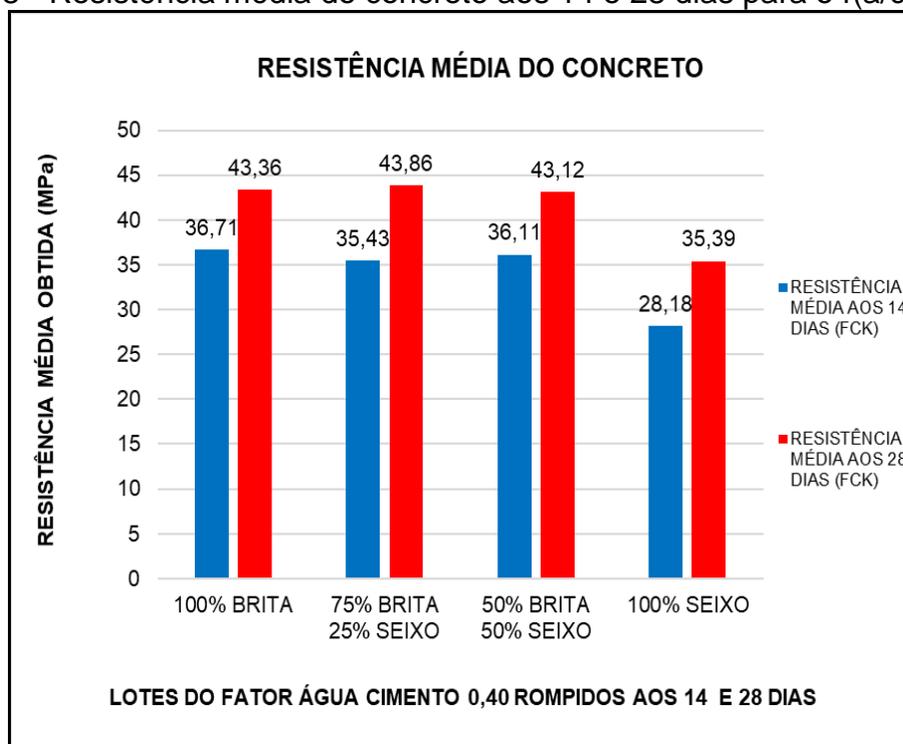
Com o aumento de seixo no concreto, a trabalhabilidade diminuiu no lote C, porém, melhorou no lote G. Os slump de cada lote foram de 57 mm e 87 mm, respectivamente. Os concretos atingiram suas maiores trabalhabilidades ao se

substituir totalmente (100%) a brita pelo seixo rolado na moldagem dos lotes D e H, que atingiram slump de 144 mm e 140 mm, respectivamente.

Por possuir maior rugosidade e forma geométrica mais irregular a brita apresenta menor abatimento de slump em relação ao seixo rolado que possui forma arredondada e superfície mais lisa, se distribuindo melhor através da matriz do cimento, tornando o concreto cada vez mais fluido a medida que sua proporção aumenta no concreto (MENDES, 2012). Isso explica o aumento da trabalhabilidade do concreto a medida que a brita é substituída pelo seixo rolado como agregado graúdo neste trabalho.

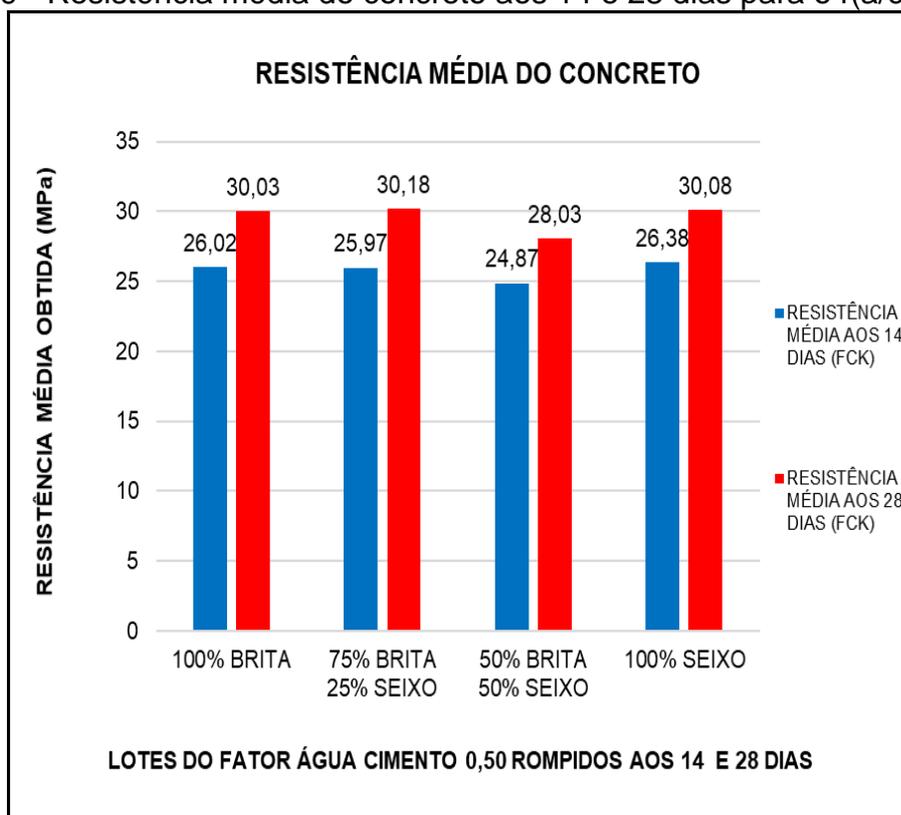
O fator água/cimento de 0,50 obteve regularidade nos resultados apresentando aumento gradativo e mais proeminente da trabalhabilidade proporcionalmente à substituição da brita pelo seixo. Os lotes A, B, C e D foram moldados com um traço que utiliza mais cimento e menos água em relação aos concretos moldados com fator água/cimento de 0,50, o que reduz a trabalhabilidade da argamassa destes lotes.

Figura 8 - Resistência média do concreto aos 14 e 28 dias para o  $f(a/c) = 0,40$ .



Fonte: Arquivo próprio (2018).

Figura 9 - Resistência média do concreto aos 14 e 28 dias para o  $f(a/c) = 0,50$ .



Fonte: Arquivo próprio (2018).

Através das Figuras 8 e 9, podemos analisar as resistências médias características dos concretos ( $f_{ck}$ ) aos 14 e 28 dias. Todos os traços apresentaram acréscimo de resistência dos 14 aos 28 dias, com a evolução das reações de hidratação do cimento, e atingiram, aos 28 dias, valores maiores de resistência à compressão do que o  $f_{ck}$  esperado, comprovando a viabilidade da substituição parcial ou total de agregado de brita por seixo rolado. Tanto com relação  $a/c$  de 0,40 ou 0,50, o traço contendo 75% brita e 25% de seixo apresentou os maiores valores de resistência à compressão aos 28 dias (43,86 MPa e 30,18 MPa, respectivamente), indicando um possível teor de substituição ideal, que provoca maior empacotamento e coesão, com os grãos de brita preenchendo os vazios entre os grãos de seixo e vice-versa, proporcionando uma maior resistência mecânica do concreto no estado endurecido.

Para os traços com relação  $a/c$  de 0,40, as resistências se mantiveram próximas do concreto de referência (100% brita), aos 14 e 28 dias, para os traços com substituição de até 50% de seixo. A utilização de 100% de seixo causou uma queda de 23,2% na resistência aos 14 dias e 18,4% na resistência aos 28 dias,

comparando com o traço de referência. Esse desempenho pode ser explicado pela própria resistência mecânica do seixo rolado ser inferior à do granito (brita), uma vez que o quartzo apresenta elevada porosidade, bem como sua superfície polida e arredondada dificulta a aderência da pasta, diminui o atrito interno entre os grãos prejudicando o travamento interno, e concentra água sobre sua superfície, tornando menos resistente a zona de transição agregado/pasta.

Já nos traços com relação a/c de 0,50, as resistências se mantiveram próximas do concreto de referência (100% brita), aos 14 e 28 dias, para os traços com substituição de 25% e 100% de seixo. No entanto a utilização de 50% de seixo não causou quedas preocupantes na resistência à compressão, sendo 4,4% menor aos 14 dias e 6,6% menor aos 28 dias, comparando com o traço de referência.

As menores resistências ocorreram nos corpos de prova dos lotes D com 28,18 MPa e G com 24,87 MPa, sendo esta a menor resistência média obtida neste trabalho. Porém, mesmo sendo a menor de todas as resistências, seu valor é satisfatório por ser, aos 14 dias, um valor muito próximo ao especificado pelo traço aos 28 dias (25 MPa).

As menores resistências médias aos 28 dias foram verificadas nos lotes D (100% seixo e relação a/c de 0,40) com 35,09 MPa e G (50% brita, 50% seixo e relação a/c de 0,50) com 28,03 MPa.

Também foi possível observar a queda na resistência à compressão para todos os traços, aos 14 e 28 dias, com o aumento da relação a/c de 0,40 para 0,50, confirmando mais uma vez o modelo de Abrams, onde quanto maior a quantidade de água em uma mistura, maior será a porosidade do concreto no estado endurecido, mais fraca será sua zona de transição e conseqüentemente, menor será sua resistência à compressão.

Em relação à resistência, o estudo feito por Neville (1997) observa que apenas quando comparadas as resistências dos concretos que utilizaram somente brita ou somente seixo como agregado graúdo, os concretos produzidos com brita obtiveram resistências maiores que os produzidos com seixo.

No entanto, a resistência dos concretos no presente estudo não obedeceu a esta tendência quando produzidos traços com a mistura do seixo com a brita. A combinação de 75% de brita e 25% de seixo obteve, embora de forma discreta, a maior resistência média aos 28 dias tanto para o fator água cimento 0,40 quanto

0,50. Isso porque a adição do seixo reduziu os vazios entre as britas, oferecendo mais compacidade ao concreto.

Os concretos produzidos com 50% de brita e 50% de seixo variaram de acordo com o fator água/cimento. Para o fator água/cimento 0,40, a resistência do concreto foi superior à dos concretos produzidos somente com seixo rolado enquanto para o fator água/cimento 0,50, a resistência obtida foi inferior aos concretos que utilizaram apenas seixo rolado como agregado graúdo. O desempenho do traço contendo 100% seixo foi melhor com uma maior relação a/c.

Dos oitenta corpos de provas rompidos, o CP 54, (lote F rompido aos 14 dias) obteve a menor resistência desse estudo, com 19,63 MPa, enquanto o CP 18 (lote B com rompimento aos 28 dias) apresentou a maior resistência, com 46,30 MPa.

## **6 CONCLUSÕES**

Substituir brita por seixo rolado pode ser uma alternativa prática, viável e econômica tanto em relação à trabalhabilidade quanto à resistência do concreto estrutural.

Os resultados demonstram que o seixo rolado, quando misturado a brita, reduz os vazios e diminui o atrito interno, oferecendo mais compacidade ao concreto, melhorando assim, sua trabalhabilidade e resistência.

Por utilizar brita de 25 mm de diâmetro (brita 2) e baixos fatores água/cimento, os concretos deste estudo obtiveram excelentes resistências devido ao tamanho dos agregados e alto consumo de cimento. As melhores foram obtidas nos concretos moldados com substituição de 25% da brita por seixo rolado como agregado graúdo. A adição reduziu a absorção de água da pasta pelo agregado, tornando o concreto mais fluido (trabalhável). A forma arredondada e lisa do seixo rolado facilitou o preenchimento de vazios da matriz do concreto, tornando-o mais compacto e resistente.

As menores resistências médias obtidas para cada fator água/cimento se alternaram entre o concreto produzido com 100% de substituição de brita por seixo para o fator água/cimento de 0,40, e o concreto concebido com 50% de substituição de brita por seixo para o fator água/cimento de 0,50. Essa alternância ocorre devido à diferença no consumo de cimento e água de cada traço.

Por não utilizar nenhum tipo de aditivo em seus concretos, este estudo oferece a oportunidade para novos trabalhos serem realizados e comparados refazendo a pesquisa com a utilização de aditivos, possibilitando a obtenção de novos traços com fatores água/cimento menores e, obtenção de novos dados para a análise da influência do seixo rolado em concretos estruturais. Também se torna interessante estudar outras porcentagens de substituição em busca de uma proporção ideal, bem como gerar curvas de dosagem específicas para o uso do seixo rolado.

A possibilidade dos concretos moldados neste estudo desenvolver a reação álcali-agregado (RAA), não pode ser verificada, devido esta patologia ser muito complexa, ficando como sugestão para futuros trabalhos.

Porém, de todas RAA, a reação álcali carbonato é descartada por ocorrer apenas em concretos que utilizam agregados de origem calcária, o que não ocorreu neste estudo. Além disso, o cimento pozolânico (CP II-Z 32) e os baixos fatores água/cimento utilizados reduziram a quantidade de água utilizada e a porosidade dos concretos moldados desse trabalho, não favorecendo, portanto, a ocorrência de reação álcali-agregado.

## **7 AGRADECIMENTOS**

Agradeço à:

- DEUS, meu refúgio e fortaleza;
- Taís Gomes, minha orientadora, por sua dedicação e paciência;
- Minha família, pelo apoio e;
- Aos Técnicos de laboratório Cárita, Diego e Mateus, por todo auxílio prestado com seriedade e paciência.

## 8 REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura dos corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão dos corpos de prova. Rio de Janeiro, 2007

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimentos. Versão corrigida. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9976**: Determinação da massa específica do agregado miúdo por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49**: Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. Ed. Revisada – [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2013. Vol. 1.

BROOKS, J. J; NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Brookman, 2013.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural**: Tópicos aplicados. 2. ed. São Paulo: PINI, 2012. P.12

FREITAS J. R.; J. A. **Materiais de construção**. Notas de aula. Disponível em [http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/0/00/TC031\\_Agregados\\_.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/0/00/TC031_Agregados_.pdf). Acessado em 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. IBRACON, 2007. Editor: Geraldo Cechella Isaia

MENDES, VÂNIA ALVARENGA. Estudo comparativo das propriedades mecânicas e estruturais de blocos produzidos com brita ou seixo rolado. Universidade de São Paulo – Escola de engenharia de Lorena. Lorena. 2012.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto Microestrutura, Propriedades e materiais. 2ª ed. São Paulo, Pini, 2008.

NETO, J. X. Pavimentos de concreto para máquinas ultrapesadas. São Paulo: PINI, 2013.

NEVELLE, A. M. Propriedades do concreto. Tradução de E. Giammusso, São Paulo: PINI. 1997.

SANCHES, L. F. MORETTI. Contribuição ao estudo dos métodos de ensaio na avaliação das reações álcali – agregados em concretos. 2008. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.

TARTUCE, R.; GIOVANNETTI, E. **Princípios básicos sobre concreto de cimento Portland**. São Paulo: PINI: IBRACON, 1990.