

# FORMULAÇÃO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA) DE ALTA RESISTÊNCIA PELO MÉTODO DE EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS

Jéssica Andrade Dantas<sup>1</sup>; Heloísa Cristina Fernandes Cordon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

<sup>2</sup> Professora da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

**Resumo.** *O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo hoje em dia, por isso são necessários vários estudos para poder melhorar cada vez mais suas técnicas e utilização, levando sempre em consideração a sustentabilidade e a viabilidade econômica do produto final. O concreto auto adensável (CAA) tem como principal característica a capacidade de fluir sem perder sua estabilidade, autoadensando-se. O método de empacotamento de partículas utiliza-se das características físicas dos materiais empregados na mistura (distribuição granulométrica e massa específica) para a produção de um concreto de melhor desempenho. Neste trabalho foi formulado um concreto auto adensável pelo método do empacotamento de partículas. O desempenho do traço foi analisado por meio de ensaios de resistência à compressão e ensaios para verificação do controle de trabalhabilidade onde foram obtidos resultados satisfatórios: resistência à compressão média de 137,8 MPa aos 28 dias de idade, baixo índice de ligantes, 2,12 kg/m<sup>3</sup> para cada MPa de resistência à compressão para a mesma idade e consumo de cimento de 234,26 kg/m<sup>3</sup>, ou seja, dentro dos padrões de ecoeficiência.*

## 1. Introdução

Com o crescimento da construção civil, procura-se desenvolver novas tecnologias nas áreas de desenvolvimento do produto, materiais e aplicações. O termo concreto auto adensável (CAA) tem como definição ser o concreto fluido e homogêneo, capaz de preencher os espaços vazios das formas, através de seu peso próprio, não necessitando de nenhum tipo de vibração externa ou tecnologia de compactação. Além disso, é caracterizado pela alta resistência à segregação e à exsudação, devendo, ainda, possuir a habilidade de passar pelos obstáculos sem apresentar bloqueio das partículas de agregado (MELO, 2005; VITA, 2011). Entretanto, fatores como custo dos materiais e a falta de mão-de-obra qualificada levam a pouca utilização dessa tecnologia. Atualmente, a indústria cimenteira é responsável por 5% das emissões de CO<sub>2</sub> do mundo e esta porcentagem deverá aumentar já que a demanda por produtos à base de cimento está prevista para multiplicar por um fator de 2,5 nos próximos 40 anos, portanto, estratégias de redução adicionais são necessárias, incluindo um aumento da eficiência de utilização do cimento (DAMINELLI, 2010).

A capacidade de se auto adensar é alcançada através do equilíbrio entre alta fluidez e grande mobilidade e moderada viscosidade e coesão entre as partículas do concreto fresco. O propósito do uso de aditivos superplastificantes é justificada pelo fato dele aumentar a trabalhabilidade sem mudança na composição da mistura, diminuindo a quantidade de água empregada na mistura de modo a reduzir a relação água/aglomerante e posteriormente aumento de resistência e durabilidade e a redução da água e cimento, a fim de minimizar efeitos de retração por secagem, retração hidráulica e tensões térmicas provenientes da hidratação do cimento (CHEYREZY, 1999).

O concreto é considerado auto adensável quando três propriedades são alcançadas simultaneamente: i) fluidez, ii) coesão necessária para que a mistura escoe intacta entre as barras da forma (habilidade passante) e iii) resistência à segregação.

Segundo Aïtcin (2000), o objetivo de qualquer método de dosagem é determinar uma combinação adequada e econômica dos constituintes do concreto, que possa ser usada para a primeira mistura experimental com vistas a produzir um concreto que possa estar próximo daquele que consiga um bom equilíbrio entre as várias propriedades desejadas, a um menor

custo possível. Com a utilização do método de empacotamento de partículas é possível calcular com precisão as proporções necessárias de materiais necessários para a produção do concreto.

O modelo de Andreasen pressupõe a existência de uma distribuição contínua até partículas infinitamente pequenas (SILVA et al, 2003). Descrevendo sobre o modelo, Oliveira et al. (2000) expuseram que o empacotamento ideal é aquele em que, em torno de duas partículas específicas com tamanhos muito diferentes, há condições de similaridade, isto é a imagem da granulação de ambos os ambientes deve ser a mesma. Essa similaridade define a distribuição de tamanho de partículas em termos de uma lei de potências:

$$CPFT = \left( \frac{D_P}{D_L} \right)^q \times 100$$

em que: *CPFT* é a porcentagem acumulada de partículas menores que  $D_P$ ;  $D_P$  é o diâmetro da partícula;  $D_L$  é o diâmetro da maior partícula e  $q$  é o módulo ou coeficiente da distribuição.

## **2. Objetivo**

O objetivo deste trabalho é formular um concreto auto adensável de alta resistência à compressão pelo método de empacotamento de partículas, tendo em vista o menor consumo de aglomerantes e o desenvolvimento de um concreto de alta resistência.

## **3. Material e métodos**

### **3.1. Caracterização dos materiais**

Os materiais utilizados na produção dos concretos foram: cimento branco da marca Tolteca, microsilica 920U da empresa Elkem, quartzos de 10 granulometrias diferentes (6,3 mm; 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; 0,075 mm; 0,04 mm e 0,02 mm), aditivos superplastificantes de alto desempenho (MC-PowerFlow 4001 e MC-PowerFlow 1180 na dosagem de 5,0% sobre o peso do cimento).

Todos os materiais pulverulentos e granulares utilizados (cimento, microsilica e quartzo) foram caracterizados quanto à sua massa específica e distribuição granulométrica no Laboratório de Microestrutura do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Os resultados referentes às distribuições granulométricas estão apresentados a seguir (Figura 1) e os resultados referentes à massa específica dos materiais são 2,56 g.cm<sup>-3</sup> para os quartzos, 3,00 g.cm<sup>-3</sup> para o cimento e 2,29 g.cm<sup>-3</sup> para a microsilica.

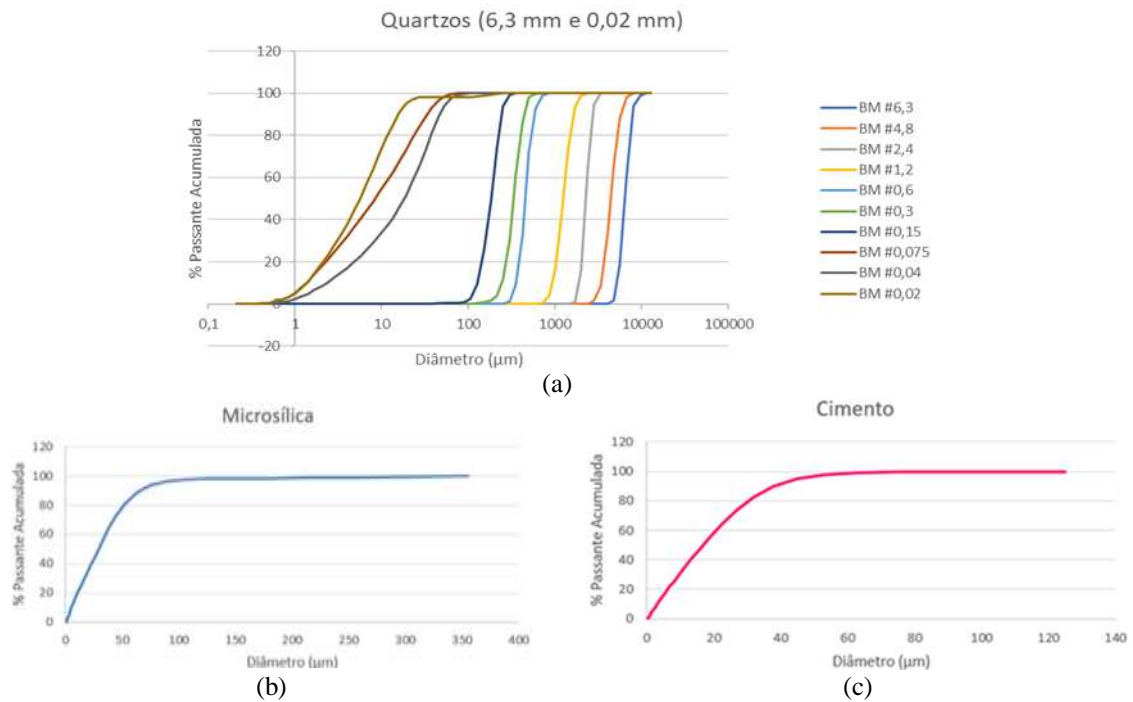


Figura 1: Curvas granulométricas dos quartzos de granulometrias 6,3 mm a 0,3 mm, (b) da microsílica e (c) do cimento.

### 3.2 Determinação do traço do concreto

Para determinar o traço ideal do concreto foi utilizado inicialmente o método de dosagem de concreto auto adensável proposto por Tutikian e Dal Molin (2007). O procedimento experimental é utilizado para determinar o empacotamento granular máximo e consiste basicamente em determinar a proporção entre dois materiais que possua a menor quantidade de vazios. Para exemplificar os dois materiais utilizados foram chamados de A e B. É importante que o material A apresente maior granulometria que o B, realizando o método em forma decrescente de granulometria.

Foi utilizado um recipiente de volume  $5 \times 10^{-2} \text{ dm}^3$  para obter as medidas. Iniciou-se a mistura com 100% do material A e 0% do material B, para poder efetuar o cálculo da massa unitária, decresceu-se de 5% em 5%, adotou essa taxa de alteração da mistura para obter maior precisão, e aumentou-se na mesma proporção, a quantidade de B. Para a construção da tabela de determinação do esqueleto granular de dois materiais, utilizou-se as seguintes equações:

- Massa unitária compactada ( $\text{kg/m}^3$ ):

$$M_{unit_{AB}} = \frac{\text{Massa Mistura (kg)}}{\frac{\text{Volume Recipiente (dm}^3\text{)}}{100}} \quad (\text{eq.1})$$

- Massa específica da mistura ( $\text{kg/m}^3$ ):

$$M_{esp_{AB}} = \frac{(M_{esp_A} \times \%A) + (M_{esp_B} \times \%B)}{100} \quad (\text{eq.2})$$

- Índice de vazios (%):

$$V = \frac{M_{esp_{AB}} - M_{unit_{AB}}}{M_{esp_{AB}}} \times 100\% \quad (\text{eq.3})$$

Tabela 2– Resultado da porcentagem ideal entre os materiais A e B

A (%)	$M_{esp_A}$ (kg/m <sup>3</sup> )	B (%)	$M_{esp_B}$ (kg/m <sup>3</sup> )	Massa mistura (kg)	Vol. rec. (dm <sup>3</sup> )	$M_{unit_{AB}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_{esp_{AB}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	Índice de vazios
100	2650	0	2650	0,676	0,05	1352	2650	3,994
95	2650	5	2650	0,668	0,05	1336	2650	1,647
90	2650	10	2650	0,661	0,05	1322	2650	0,454
85	2650	15	2650	0,668	0,05	1336	2650	1,647
80	2650	20	2650	0,67	0,05	1340	2650	2,238
75	2650	25	2650	0,67	0,05	1340	2650	2,238
70	2650	30	2650	0,669	0,05	1338	2650	1,943
65	2650	35	2650	0,663	0,05	1326	2650	0,151
60	2650	40	2650	0,6665	0,05	1333	2650	1,200
55	2650	45	2650	0,665	0,05	1330	2650	0,752
50	2650	50	2650	0,666	0,05	1332	2650	1,051
45	2650	55	2650	0,6655	0,05	1331	2650	0,902
40	2650	60	2650	0,668	0,05	1336	2650	1,646
35	2650	65	2650	0,6675	0,05	1335	2650	1,498
30	2650	70	2650	0,669	0,05	1338	2650	1,943
25	2650	75	2650	0,669	0,05	1338	2650	1,943
20	2650	80	2650	0,6695	0,05	1339	2650	2,091
15	2650	85	2650	0,67	0,05	1340	2650	2,239
10	2650	90	2650	0,67	0,05	1340	2650	2,239
5	2650	95	2650	0,695	0,05	1390	2650	9,352
0	2650	100	2650	0,688	0,05	1376	2650	7,413

Para esses materiais, verificou-se que o teor ideal da mistura seria de 65% do material A e 35% do material B, apresentando um percentual de 0,151% de índice de vazios. Assim que foi determinada essa primeira composição entre os dois materiais de maior diâmetro, se realizou o mesmo procedimento com a mistura sendo o novo material A e o próximo material de granulometria não empacotado sendo o material B.

O procedimento descrito acima foi repetido 10 vezes, em ordem decrescente de diâmetro de partículas, até chegar ao cimento e a sílica, que são os únicos materiais que não são empacotados, de maneira a se obter a porcentagem ideal para o empacotamento entre todos os materiais, e assim, poder montar o esqueleto granular apresentado abaixo:

Tabela 3 – Esqueleto granular determinado pelo método de Tutikian e Dal Molin

Material A	%	Material B	%
Quartzo 6,3 mm	65	Quartzo 4,8 mm	35
Quartzo 6,3 e 4,8 mm	70	Quartzo 2,4 mm	30
Quartzo 6,3;4,8 e 2,4 mm	35	Quartzo 1,2 mm	65
Quartzo 6,3;4,8 ;2,4 e 1,2 mm	85	Quartzo 0,6 mm	15
Quartzo 6,3;4,8 ;2,4;1,2 e 0,6 mm	70	Quartzo 0,3 mm	30
Quartzo 6,3;4,8 ;2,4;1,2;0,6 e 0,3 mm	70	Quartzo 0,15 mm	30
Quartzo 6,3;4,8 ;2,4;1,2;0,6;0,3 e 0,15 mm	95	Quartzo 0,075mm	5
Quartzo 6,3;4,8 ;2,4;1,2;0,6;0,3;0,15 e 0,075 mm	100	Quartzo 0,04 mm	0
Quartzo 6,3;4,8 ;2,4;1,2;0,6;0,3;0,15 e 0,075 mm	85	Quartzo 0,02 mm	15

A composição dos agregados determinada acima, serviu como parâmetro de entrada do software EMMA (Elkem Materials Mixture Analyser), disponibilizado pela Elkem Materials, no qual a dosagem da mistura foi realizada a partir do modelo de Andreassen. Como o objetivo era obter a formulação de um concreto auto adensável, foi definido para o coeficiente de empacotamento o valor de 0,28, indicado pelo guia de usuário do software.

Adicionando como dados de entrada as caracterizações granulométricas, a massa específica dos materiais, o modelo de empacotamento a ser utilizado (Modified Andreassen), o valor do diâmetro da maior e da menor partícula da mistura e o coeficiente de distribuição (q), o software forneceu a curva granulométrica resultante do modelo teórico utilizado, tanto em formato de tabela, como na forma gráfica.

Com base na curva teórica fornecida, são inseridas as quantidades de cada material

obtida por meio esqueleto granular do método de Tutikian e Dal Molin (2007), buscando um ajuste perfeito da curva da mistura à teórica. Deste modo, obteve-se a distribuição granulométrica que mais se aproximou da fornecida pelo modelo de Andreassen.

As formulações obtidas estão apresentada na Tabela 4, a seguir. O gráfico abaixo (Figura 3) mostra a curva granulométrica ideal segundo o modelo de Andreassen (vermelho), junto à distribuição granulométrica da mistura (azul). Este gráfico foi obtido do programa EMMA utilizado para a dosagem do traço.

Tabela 4– Formulação do traço de concreto AA.

Material	Traço AA
Cimento	1
Quartzo 6,3	1,60
Quartzo 4,8	0,80
Quartzo 2,4	0,75
Quartzo 1,2	1,60
Quartzo 0,6	0,40
Quartzo 0,3	0,75
Quartzo 0,15	0,75
Quartzo 0,075	0,13
Quartzo 0,02	0,25
Sílica	0,25
Água	0,31

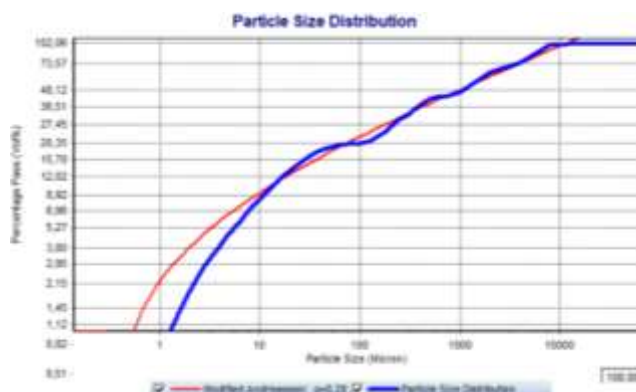


Figura 3 - Comparação entre a curva ideal (vermelha) e a curva obtida (azul) para o traço AA.

Para a definição da quantidade ideal de aditivo superplastificante para a produção do concreto auto adensável realizou-se um teste aplicando os aditivos MC-PowerFlow 4001 e MC-PowerFlow 1180, no traço AA determinado acima. Para a execução dos ensaios de resistência à compressão no estado endurecido foram moldados três corpos de prova cilíndricos de dimensões 7,5 x 15 cm para cada traço, desformados no dia seguinte à moldagem, que permaneceram em cura submersa em água por 1 dia e em cura térmica em estufa a 200 °C por 5 dias, totalizando 7 dias. As dosagens utilizadas foram as recomendadas pelo fabricante (5% em relação à massa de cimento) e os resultados médios de resistência à compressão com seus respectivos desvios padrão foram iguais a 72,66±0,79 MPa para o aditivo PowerFlow 4001 e 85,78±5,65 MPa para o Powerflow 1180.

Com base no resultados obtidos, o aditivo escolhido a ser utilizado para prosseguir os ensaios foi o MC-Powerflow 1180, cuja densidade é 1,09 g/cm kg/m³ e o consumo de cimento pode ser calculado como:

$$C = \frac{1000}{1 + \frac{2,40}{2,65} + \frac{5,03}{2,65} + \frac{0,25}{2,29} + \frac{0,05}{1,09} + 0,31} = 234,26 \text{ kg} / \text{m}^3$$

### 3.3. Preparação da mistura de concreto auto adensável

Para a moldagem dos corpos de prova, a mistura foi realizada com a utilização de um misturador manual de haste dupla e sua execução obedeceu a seguinte metodologia:

- Os agregados graúdos foram misturados e pré-molhados com 1/3 da água para evitar a absorção da água de amassamento, destinada a hidratar o cimento, e então homogeneizados;
- Adicionou-se os agregados miúdos, o cimento, a sílica ativa e 1/3 da água à mistura, e novamente homogeneizou-se;
- O aditivo superplastificante foi diluído no 1/3 restante de água, e a adicionado à mistura na betoneira, que ficou em funcionamento por 6 minutos.

#### 4. CAA no estado fresco

Para verificar as propriedades do CAA no estado fresco, foram realizados os ensaios para controle de trabalhabilidade de acordo com a norma NBR 15823 (ABNT, 2010).

##### 4.1 Determinação do espalhamento – Slump flow test

Foi realizado o ensaio de Método do cone de Abrams (Slump Flow Test), executado conforme ABNT NBR 15823-2:2010. O resultado obtido de abertura foi de 72,5 cm, o classificando como concreto auto adensável com classe de espalhamento SF2. Essa classe de concreto é adequada para a maioria das aplicações correntes, como por exemplo, paredes, vigas, pilares e outras.



Figura 4 – Slump flow test.

##### 4.2 Fluidez e habilidade passante do concreto - Método do anel-J

O teste foi realizado conjunto com o ensaio de Método do cone de Abrams (Slump Flow Test) e Slump flow  $T_{50\text{ cm}}$  test, o método foi executado conforme ABNT NBR 15823-2:2010. O resultado obtido de abertura foi de 51,75 cm, o classificando como concreto auto adensável PJ2.

##### 4.3 Tempo de escoamento – Slump flow $T_{50\text{ cm}}$ test

Foi realizado o ensaio simultaneamente com o do método do cone de Abrams (Slump Flow Test) já que o procedimento e equipamentos são os mesmos. As únicas alterações são a marcação de um círculo de 500 mm de diâmetro centrado na base, a necessidade de um cronômetro para a realização do teste. O método foi executado conforme ABNT NBR 15823-2:2010. O resultado obtido de tempo de escoamento de 2:48 segundos, o classificando como concreto auto adensável classe VS2.

##### 4.4 Viscosidade plástica aparente do concreto - Método do Funil V

Logo após a realização do ensaio da Caixa-L, conforme a ABNT 15823-5:20100, o Método do Funil-V foi realizado a fim de verificar a coesão da mistura. A Figura 8 apresenta a execução do ensaio de Funil-V. O tempo atingido para a passagem de toda a mistura de CAA no estado fresco pelo Cone-V foi igual a 12:37 segundos. Esse tempo atingido classifica o CAA pertencente a classe VF 2, abaixo dos 25 segundos.



Figura 6 – Método do Funil V

Os parâmetros obtidos nos itens 4.3 e 4.4 influem na pressão das fôrmas, o concreto em questão é adequado para a maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta menor pressão sobre as formas e melhor resistência à segregação. Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.

#### **4.5 Fluidez do concreto simultaneamente com a habilidade deste de passar por obstáculos, permanecendo coeso - Método da Caixa L**

Conforme a ABNT NBR 15823-4:2010, o Método da caixa L foi realizado a fim de verificar a facilidade que a mistura no estado fresco tem na passagem por obstáculos. Com a execução do ensaio da Caixa-L foi possível identificar as alturas H1 e H2, sendo os resultados obtidos iguais a 10,4 e 9,95 cm, respectivamente. A partir desse resultado foi possível classificar o tipo de concreto, sendo, a mistura pertencente a classe VF2 com 3 barras de aço.



Figura 7 – Método da Caixa -L

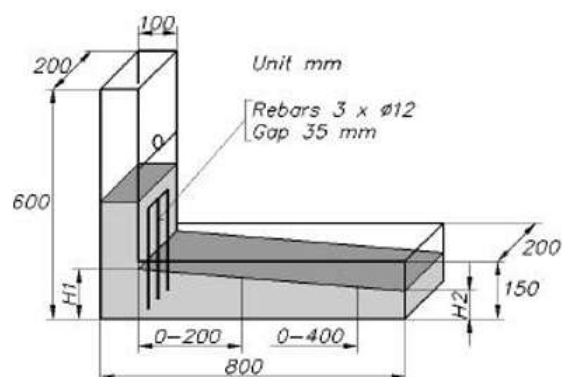


Figura 8 – Medidas recomendadas  
(Fonte: EFNARC,2002, P.27)

#### **4.6 Fluidez do concreto e a habilidade deste de passar por obstáculos sem segregar - Método da Caixa-U.**

Conforme a ABNT NBR 15823-4:2010, o método da caixa U foi realizado a fim de verificar a facilidade que a mistura no estado fresco tem na passagem por obstáculos sem segregar. Com a execução do ensaio da Caixa-U foi possível identificar as alturas R1 e R2, sendo os resultados obtidos iguais a 24,5 e 21,8 cm, respectivamente. A partir desse resultado, a diferença obtida é de 27 mm estando dentro do permitido para CAA que é 30 mm, sendo assim, possível classificar o concreto como auto adensável.



Figura 9 – Método da Caixa – U

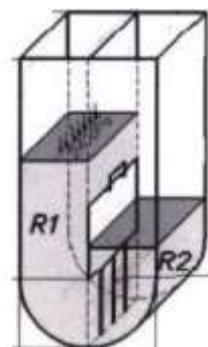


Figura 10– Medidas recomendadas (Fonte: EFNARC,2002, P.28)

#### 4.7 Coesão da mistura – Coluna de segregação

Conforme a ABNT NBR 15823-4:2010, o Método da Coluna de Segregação foi realizado a fim de verificar a facilidade que a mistura no estado fresco tem de segregar, o que não pode ocorrer nem horizontalmente nem verticalmente. Com a execução do ensaio notou-se que a distribuição dos agregados graúdos foi uniforme em todos os lugares e níveis. A partir desse resultado foi possível obter  $M_b=3579,68$  (massa de agregado graúdo da base) e  $M_t=3425,90$  (massa de agregado graúdo do topo), com esses dados se calculou o SR (resistência à segregação) pela fórmula:

$$SR = \frac{2 \times (M_b - M_t)}{M_b - M_t} \times 100 = 4,39$$

Como nesse caso o  $M_b$  é maior do que  $M_t$  a segregação é nula. O concreto foi classificado como SR2, sendo a classe de resistência à segregação da mistura igual a 4,39%, menor que 15% permitido pela norma.

### 5. Determinação da resistências à compressão

Os corpos de prova cilíndricos ( $\Phi = 75 \text{ mm}$ ;  $h = 150 \text{ mm}$ ) foram moldados sem necessidade de adensamento. Inicialmente foram moldados 9 corpos-de-prova para determinação da sua resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias de idade. Todos os corpos-de-prova foram desmoldados no dia posterior à execução das misturas e mantidos em cura saturada por 1 dia após a moldagem e depois foram levados à estufa a  $200^\circ \text{ C}$  por 5 dias, e rompidos nas respectivas datas.

#### 5.1 Ensaaios mecânicos

Os ensaios mecânicos de resistência à compressão foram realizados atendendo a norma NBR 5739-2007. Cada corpo-de-prova teve o seu topo retificado buscando uniformidade da superfície e a seguir, com o auxílio de um paquímetro foram determinadas as suas dimensões. Após esse procedimento, cada corpo-de-prova foi posicionado no centro do prato inferior da prensa e então foi iniciado o ensaio. O carregamento foi aplicado continuamente com a prensa mecânica na opção velocidade de ensaio, até que ocorresse o rompimento, caracterizado por uma queda brusca na carga exercida pela prensa.

### 6. Resultados

A Figura 12 mostra a evolução da resistência à compressão do concreto.

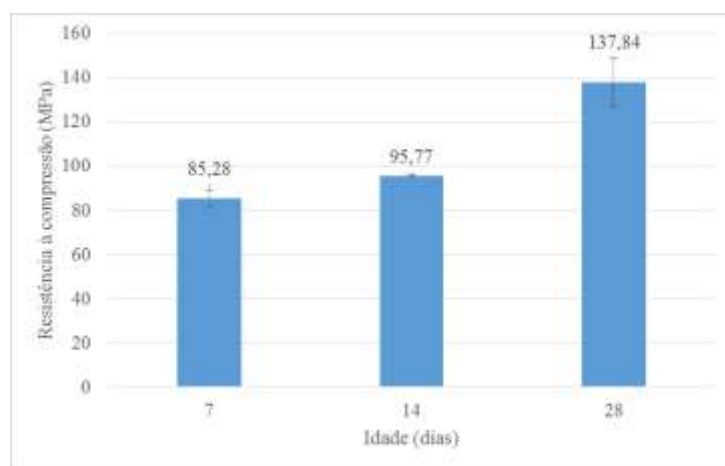


Figura 12 – Resistência à compressão do concreto.

As resistências médias à compressão apresentadas foram iguais a 85,3, 95,7 e 137,8 MPa aos 7, 14 e 28 dias de idade, respectivamente. O índice de ligantes em função da resistência para as mesmas idades foram iguais a 3,43, 3,06 e 2,12  $\text{kg/m}^3$  para cada MPa de resistência à compressão, mostrando que o concreto em questão está dentro dos parâmetros para ser um concreto ecoeficiente, pois seu IL está entre 2 e 6  $\text{kg/m}^3 \cdot \text{MPa}^{-1}$  (PILLEGI, 2012). De acordo com as literaturas brasileiras e internacionais, existem poucos estudos alcançando um IL menor do que 5  $\text{kg/m}^3 \cdot \text{MPa}^{-1}$  (LESSARD; CHAALLAL; AÏTCIN; CATOIA et al, 2008).

## 7. Conclusão

Com os procedimentos de dosagem do concreto detalhado neste trabalho foi possível produzir o concreto auto adensável e de alta resistência à compressão proposto.

A utilização do método de empacotamento de partículas em conjunto com a utilização do aditivo dispersante (aditivo superplastificante) permitiu a formulação de um concreto auto adensável de alta resistência com baixo consumo de ligantes. O concreto em questão é um material dentro dos conceitos a serem seguidos para alcançar a sustentabilidade, tendo como referência os princípios da ecoeficiência.

Ressalta-se que o controle da preparação deste tipo de concreto, desde a dosagem até a sua confecção, é importante para obter um material de qualidade, que apresente as características de alta performance esperadas do CAA. Para finalizar, pode-se afirmar que é possível a aplicação desse tipo de concreto, porém pode ser uma alternativa de custo elevado. Isto porque para sua produção é necessária mão de obra qualificada, e materiais relativamente caros. Além disso há o fato de não se usar brita, que é o material de baixo custo dos concretos convencionais.

## 8. Referências bibliográficas

AÏTCIN, PIERRE-CLAUDE. **Concreto de alto desempenho**. [trad.] Geraldo G. Serra. São Paulo : Pini, 2000.

ALENCAR, R. S. A.; Helene, P. **Concreto autoadensável de elevada resistência – inovação tecnológica na indústria de pré-fabricados**. Revista Concreto e Construções, Ed. IBRACON, São Paulo, n. 43, p. 46-52, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1:2010**: Concreto-autoadensável – Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823-1:2010**: Concreto-autoadensável – Parte 2: Determinação do espalhamento e do

tempo de escoamento – Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823-1:2010: Concreto-autoadensável – Parte 3: Determinação da habilidade passante – Método do anel J.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823-1:2010: Concreto-autoadensável – Parte 4 Determinação da habilidade passante – Método da caixa L.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010

\_\_\_\_\_. **NBR 15823-1:2010: Concreto-autoadensável – Parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823-1:2010: Concreto-autoadensável – Parte 6 : Determinação da resistência á segregação – Método da coluna de segregação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739-5:2007: Concreto-Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos–.** Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

CHEYREZY, M.; MARET, V.; FROUIN, L. (1999). **Microstructural Analysis of RPC (Reactive Powder Concrete). Cement and Concrete Research.**v. 25, n. 7, p. 1491- 1500,Oct.

DAMINELI, Bruno L.; KEMEID, Fernanda M.; AGUIAR, Patricia S.; JOHN, Vanderley M. **Measuring the eco-efficiency of cement use.** Department of Construction Engineering, Escola Politécnica, University of São Paulo, 2010.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 2.ED. São Paulo: Ibracon, 2014.

MELO, K. A. **Contribuição à dosagem de concreto auto adensável com adição de filer calcário.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PETRY, F.; **Análise e Otimização do Método de Dosagem Repette-Melo para Concreto Autoadensável através do Modelo de Empacotamento Compressível de Partículas (MEC).** Monografia do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

PILLEGI, R. Estratégias para ecoeficiência de produtos à base de cimento. In: **SEMINÁRIO AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA CONSTRUÇÃO**, 2012, São Paulo. **Anais eletrônicos...**São Paulo : CBCS, 2012.

RICHARD, P.; CHEYREZY, M. (1995). **Composition of reactive powder concretes.** Cement and Concrete Research. v. 25, n. 7, p. 1501-1511.

RILEM. **Casting of Self Compacting concrete.** Report 35, Final report of RILEM TC188-CSC. Skarendahl, A.; Bilberg, P. (Ed). Bagneux, França: RILEM Publications S.A.R.L. 2006. p.41.

SILVA, A. P.; SEGADÃES, A. M.; DEEZAS, T. C. **Relações entre distribuição granulométrica, morfologia e empacotamento de partículas num sistema real: alta alumina.** In Congresso Brasileiro de Cerâmica, 47º, João Pessoa-PB, 2003. Anais do 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2003.

SILVA, P.; **Aplicação dos conceitos P+L e Lean and Green numa central dosadora de concreto.** Monografia do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

TUTIKIAN, B.F.; DAL MOLIN, D.C.C. **Concreto Autoadensável.** 2.ED. São Paulo: PINI, 2015.

VITA, M. O. **Estudo da retração plástica e da fissuração do concreto auto adensável nas primeiras idades: avaliação da influência dos tipos de adições minerais.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.