

PRODUÇÃO DE CONCRETO AUTO ADENSÁVEL (CAA) COM BAIXO CONSUMO DE CIMENTO PORTLAND

Roberto Molina Cerqueira ¹; Heloísa Cristina Fernandes Cordon ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

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

Resumo. *O concreto é um dos materiais mais consumidos no mundo por sua aplicação abrangente e sua facilidade de produção. Há vários tipos de concretos para diferentes funções, sendo um deles o Concreto Auto Adensável (CAA), que possui como principais características a alta fluidez, não havendo necessidade de adensamento mecânico. Outra característica é o uso de mais materiais finos do que outros concretos, além do alto consumo de cimento. Esse estudo tem como objetivo o desenvolvimento de um concreto auto adensável com baixo consumo de cimento Portland em comparação com os concretos usuais, mantendo sua característica de alta fluidez e sem prejuízos para a resistência mecânica. Essa pesquisa aplicou o método de empacotamento de partículas por meio do modelo de Alfred para formular um concreto auto adensável com baixo consumo de cimento por meio da substituição de 0, 10 e 20% da massa de cimento por microssilica. Os concretos apresentaram classe de espalhamento na faixa SF1 e mostraram-se mais coesos com o aumento da substituição. Nos ensaios de anel J, caixa L, funil V, coluna de segregação e inspeção visual, o CAA manteve suas características primárias de auto adensável. A resistência à compressão apresentou valores entre 40 e 47 MPa aos 7 dias e 42 e 49 MPa aos 14 dias. O traço S20 mostrou-se o mais ecoeficiente dentre os concretos estudados, especialmente para sua zona de atuação na concretagem de elementos estruturais com baixa densidade de armadura e para fundações profundas, apresentando os menores valores de índice de ligantes e índice de carbono, exceto para o índice de ligantes a 7 dias, chegando a um mínimo de $5,64 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$.*

Introdução

É de conhecimento geral que as pesquisas seguem as necessidades do mercado e isso não é diferente no mercado da construção civil. E nessa relação de causa e consequência foi preciso desenvolver um concreto de melhor trabalhabilidade, com menor necessidade de trabalhadores e com maior liberdade de uso em fôrmas complexas. Além disso, foi preciso evoluir em sua formulação para concretos mais sustentáveis, ou seja, com menor uso de recursos que poluam o meio ambiente, como é o caso do cimento Portland. Então, foram criados dois parâmetros de avaliação do concreto ecoeficiente chamados índice de carbono (*IC*) e índice de ligantes (*IL*) calculados pela divisão do consumo de cimento ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) e do consumo de ligantes ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), respectivamente, pela resistência à compressão (MPa) do concreto. Esse conceito avalia a competência do concreto, na quantidade de material ligante necessária para uma unidade de desempenho mecânico ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$) (DAMINELI; KEMEID; AGUIAR; JOHN, 2010).

O CAA tem como principais características ser fluido, coeso e resistente à segregação (TUTIKIAN; MOLIN, 2008). A fluidez é a habilidade do concreto em preencher os espaços vazios de uma fôrma a partir de seu peso próprio, já a habilidade passante é a característica da mistura escoar pela fôrma sem ficar detida pela armadura e a resistência à segregação é a propriedade do concreto manter-se coeso ao fluir em fôrmas.

Apesar de tantos pontos positivos o CAA é pouco trabalhado em obras convencionais devido à necessidade de profissionais qualificados para a formulação de seu traço, seu alto teor de finos e conseqüentemente seu alto custo, mas esse concreto com o avanço de estudos e pesquisas vem se tornando uma realidade na construção civil. Ao utilizar o concreto auto adensável diminui-se o número de trabalhadores, não há necessidade de vibração, é um concreto

com maior facilidade de bombeamento para construção de lajes em andares mais distantes gerando uma economia final em tempo e dinheiro (TUTIKIAN; MOLIN, 2008).

Para a formulação de um concreto auto adensável é necessário alto volume de materiais finos na composição do traço, o uso de aditivos redutores de água para melhorar a trabalhabilidade sem que seja necessário aumentar a relação água/cimento, somando todos esses fatores o resultado é um consumo de cimento mais alto em comparação ao concreto convencional e, aumentando a retração por secagem e por tensões térmicas geradas pelo calor de hidratação do cimento (CHEYREZY; MARET; FROUIN, 1995).

Nesta pesquisa foi produzido um concreto auto adensável (CAA) com menor consumo de cimento em comparação com um concreto auto adensável convencional proporcionado pela sua substituição por microssílica, gerando um concreto mais sustentável, já que consome menor quantidade de clínquer. Uma vez que os recursos naturais estão cada vez mais escassos, é necessária a preservação do meio ambiente e, para o setor da construção civil, uma maneira de reduzir o impacto ambiental é formulando concretos que sejam mais ecológicos, pois a indústria cimenteira é uma das indústrias com maior porcentagem de emissões de CO₂ no planeta já que ele é um dos recursos mais utilizados no mundo (MEHTA, P. K.; MONTEIRO, 2008).

Material e Métodos

Os materiais utilizados no estudo foram cimento Portland tipo CPV, microssílica, areia rosa, areia de brita, brita 0, brita 1, aditivo redutor de água e água de abastecimento da cidade de São Caetano do Sul.

O cimento CPV foi selecionado por ser mais fino, não conter adições minerais e apresentar uma resistência inicial maior que os outros cimentos, excelente para uso em concretos auto adensáveis. O aditivo Concera SA8212 (GCP ®) é classificado como redutor de água tipo 2 (RA 2) e modificador de viscosidade anti-segregante (MV-AS) e foi escolhido por ser designado especialmente para a formulação de concretos altamente fluidos com baixo consumo de cimento.

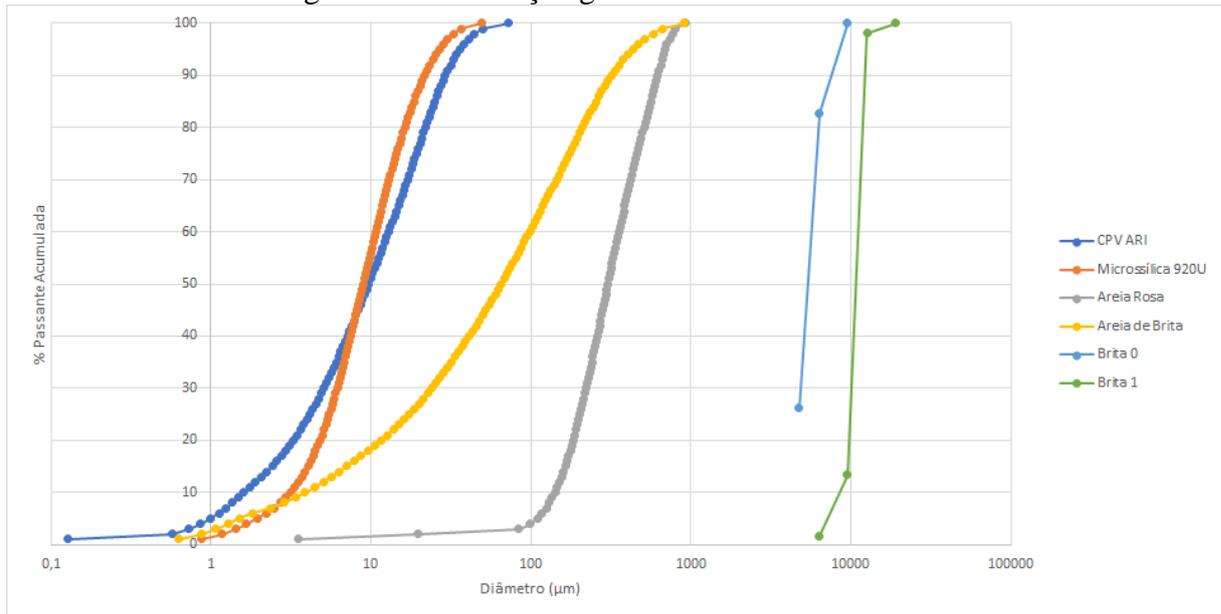
As massas específicas de cada componente sólido, determinadas por um picnômetro de gás hélio (Autodensity 100 – ACP Instruments) estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Massa específica dos materiais.

| Material | CPV | Microssílica | Areia rosa | Areia de brita | Brita 0 | Brita 1 |
|---------------------------------------|------|--------------|------------|----------------|---------|---------|
| Massa específica (g/cm ³) | 2,95 | 2,36 | 2,54 | 2,65 | 2,54 | 2,53 |

O gráfico da Figura 1 apresenta a distribuição granulométrica dos materiais particulados (cimento, microssílica, areia rosa e areia de brita) determinada por um analisador de tamanho de partículas a laser (Bettersizer S3 Plus). Para as britas 0 e 1 aplicou-se o peneiramento conforme a norma ABNT NBR 248 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Figura 1 - Distribuição granulométrica dos materiais



Método de Dosagem Aplicado

Escolheu-se formular um concreto que se difere dos outros auto adensáveis por apresentar um menor consumo de cimento Portland, sem prejuízo das principais características. Para tanto, estudou-se maneiras eficazes de elaborar um produto com baixo consumo de cimento e encontrou-se o método de substituição do cimento Portland por microsílica. Para isso fixou-se a taxa de aglomerantes, a relação areia rosa e areia artificial, e a porcentagem de aditivo redutor de água em conjunto com o software EMMA (*Elkem Materials Mixture Analyser*) para apresentar o melhor empacotamento possível.

Conforme o estudo de Castro Pandolfelli (2009) há duas equações para explorar o empacotamento de partículas. O modelo de Furnas (Equação 1), que considera as partículas individualmente e o modelo Andreassen (Equação 2), que analisa as partículas como distribuições contínuas.

$$CPFT(\%) = 100 \left(\frac{D^{\log r} - D_s^{\log r}}{D_L^{\log r} - D_s^{\log r}} \right) \quad \text{Equação 1}$$

$$CPFT(\%) = 100 \left(\frac{D}{D_L} \right)^q \quad \text{Equação 2}$$

Nessas equações o CPFT é a porcentagem volumétrica de partículas, já o D_L é o diâmetro da maior partícula e o D_s da menor partícula, sendo r a razão entre o volume de partículas e o q é o módulo ou coeficiente de distribuição. Entretanto, com base nesses dois modelos foi criado um modelo matemático (Equação 3) que agrupa as duas outras equações.

$$CPFT(\%) = 100 \left(\frac{D_P^q - D_S^q}{D_L^q - D_S^q} \right) \quad \text{Equação 3}$$

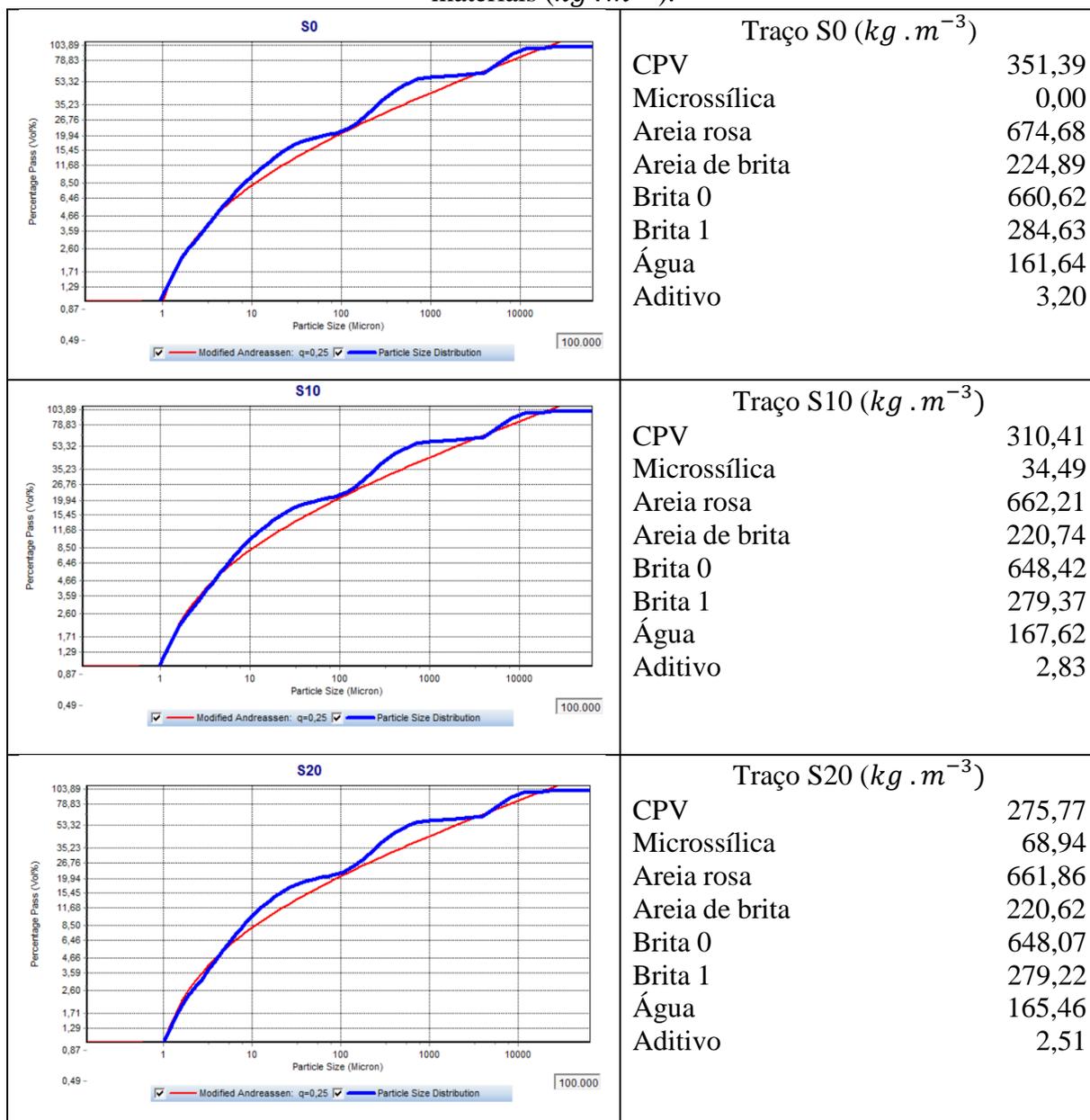
A partir daí, evoluiu-se para o modelo Alfred (Andreassen modificado), que inseriu um novo conceito para o D_s como diâmetro mínimo da partícula. E por meio de várias simulações,

Castro e Pandolfelli (2009) afirmaram que o melhor coeficiente de distribuição (q) para concretos auto adensáveis é de 0,25.

Portanto, nesta pesquisa foi utilizado o software EMMA (*Elkem Materials Mixture Analyser*) considerando-se o modelo Alfred para a elaboração das misturas de concreto com base nos valores de massa específica e distribuição granulométrica dos materiais (Figura 1) de modo a tornar a curva da mistura o mais próxima possível da curva do modelo. Nos gráficos da Figura 2 existem duas curvas, a curva em vermelho é composta pela entrada dos seguintes dados: as massas específicas (Tabela 1), distribuição granulométrica (Figura 1), o modelo de dosagem utilizado (Alfred), o valor do coeficiente de distribuição (q) e assim o software calcula o modelo teórico em forma de gráfico que forma o empacotamento ideal das partículas, já a curva em azul representa o empacotamento gerado a partir de proporções das quantidades dos materiais inseridas no software para chegar o mais próximo possível do empacotamento ideal.

A Figura 2 apresenta os gráficos gerados a partir do software EMMA e os traços dos CAA com consumo total de ligantes fixado em torno de $350 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, sendo S0 o traço referência com 0% de substituição de cimento por microssílica, S10 com 10% de substituição e S20 com 20% de substituição. Nesses traços foram fixados o teor de aditivo em 1% em massa em relação ao cimento e teor de argamassa seca em 57% para encontrar o traço de caráter sustentável, mas sem perder as características principais de um CAA, que são trabalhabilidade, coesão e fluidez.

Figura 2 - Gráfico de empacotamento das partículas através do EMMA e consumo dos materiais ($kg \cdot m^{-3}$).



Pode-se observar na Figura 3 que o consumo dos materiais se manteve com números bem próximos o que está coerente com os gráficos do EMMA uma vez que os três gráficos expõem uma similaridade apenas destoando em seu começo, exclusivamente na parte da faixa granulométrica do cimento e microssílica, devido a substituição do cimento por microssílica.

Método de mistura

O equipamento utilizado para a produção dos concretos foi uma betoneira. A ordem de mistura consiste em um processo de 4 etapas:

- i. Umidificar a betoneira;
- ii. Colocar as britas junto com 20% da água misturando por 1 minuto;
- iii. Adicionar as areias, cimento e microssílica nessa ordem e misturar por 3 minutos;
- iv. Adicionar 80% da água e aditivo diretamente na mistura e misturar por 5 minutos.

Método de moldagem e cura

Os corpos-de-prova foram moldados sem qualquer tipo de adensamento ou vibração conforme a norma ABNT NBR 5738 (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 2017), por ser um concreto auto adensável não é necessária nenhuma energia extra na moldagem, basta apenas verter o concreto na forma, nivelando a superfície e retirando o excesso. Desmoldou-se os corpos-de-prova após um dia da concretagem, que foram então submetidos a uma cura submersa em água até o dia do rompimento. Foram moldados 6 corpos-de-prova para ensaios de resistência à compressão simples com 7 e 14 dias de idade, que após saírem da cura foram retificados e então submetidos ao ensaio.

Resultados e Discussão

Propriedades no Estado Fresco

Os ensaios para análise das características no estado fresco foram realizados de acordo com as normas ABNT NBR 15823-1 a 6 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017a, 2017b, 2017c, 2017d, 2017e, 2017f), sendo: (i) espalhamento e índice de estabilidade; (ii) anel J, que analisa a habilidade passante em ambiente de fluxo livre; (iii) caixa L, que avalia a habilidade passante em ambientes confinados; (iv) T500, que é o resultado do tempo de escoamento do concreto até a marcação de 500 mm de diâmetro; (v) funil V, que investiga a viscosidade também em ambiente confinado e (vi) coluna de segregação. Esses ensaios visam avaliar as características primordiais de um concreto auto adensável para que ele seja viável para ser usado. Os resultados para as três misturas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades do estado fresco dos concretos

| Traço | Espalhamento (mm) | Anel J (mm) | Caixa L | T500 (s) | Funil V (s) | Coluna de segregação |
|-------|-------------------|-------------|---------|----------|-------------|----------------------|
| S0 | 633 | 95,5 | 0,79 | 7,5 | 12,14 | 0,39 |
| S10 | 615 | 27,5 | 0,77 | 8,7 | 12,23 | 1,74 |
| S20 | 572 | 43,5 | 0,75 | 9,3 | 13 | 2,87 |

O objetivo desta pesquisa era alcançar a faixa SF 1 de espalhamento (550 a 650 mm) que é recomendada para estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos conforme a norma ABNT NBR 15823-1 (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), ou seja, concretagem sob um escoamento de fluxo livre de estruturas que possuem baixa distância horizontal como lajes e estacas. Analisando os dados de espalhamento, é possível observar que com o aumento da substituição, menor era o espalhamento, ou seja, o CAA ficou mais coeso à medida que o cimento era substituído pela microssílica, comportamento também observado no trabalho de Hemalatha et al. (2015). Entretanto, Matos et al. (2019), observaram um comportamento não linear do espalhamento com o aumento da substituição. Diferente do presente estudo, Matos et al. (2019) e Hemalatha et al. (2015) obtiveram concretos de classe SF 2, com espalhamento de 650 a 750 mm, designados para a maioria das aplicações como paredes, vigas e pilares.

No ensaio do anel J, os traços S10 e S20 foram classificados como PJ 2 conforme a norma ABNT NBR 15823-1 (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), ou seja, um concreto que obteve uma diferença de diâmetro para o espalhamento entre 25 e 50 milímetros, mas nesse ensaio o concreto S0 não se classificou por estar acima de 50 mm, portanto observou-se que os resultados desse ensaio apresentaram um aspecto não linear.

No ensaio da caixa L é possível observar que atingiu-se uma faixa entre 0,75 e 0,79, a qual não obteve uma classificação na norma ABNT NBR 15823-1 (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), todavia os resultados mostraram uma coerência com o ensaio de espalhamento em que o CAA foi perdendo a capacidade de escoar, tornando-se mais viscoso com o aumento do teor de substituição, o que permaneceu coerente com o estudo de Hemalatha et al. (2015) em que foi alcançado a marca designada para CAA de maior ou igual à 0,80 e à medida que era adicionada cinza volante a diferença entre as alturas do concreto na caixa L aumentava. Ao contrário da pesquisa de Matos et al. (2019) que apesar de alcançar a classificação da norma ABNT NBR 15823-1 (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), apresentou resultados irregulares.

Nesta pesquisa e na de Matos et al. (2019), o T500 apresentou valores acima de 2 segundos, que fica classificado na faixa VS 2 de viscosidade plástica aparente conforme a norma ABNT NBR 15823-1 (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Para o ensaio de funil V, tanto neste estudo quanto no de Matos et al. (2019) os concretos foram classificados como VF 2. Já o de Hemalatha et al. (2015) classificou-se em VF 1 conforme a norma ABNT NBR 15823-1 (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Nesta pesquisa o tempo de escoamento variou entre 12 e 13 segundos, isto é, o concreto se encontra na faixa de tempo de escoamento de 9 a 25 segundos, o que revela uma boa viscosidade plástica aparente sob fluxo confinado. Nota-se uma relação de aumento do tempo em função do aumento da substituição, ou seja, o CAA estava mais difícil de escoar à proporção que era feita a substituição do cimento pela microssílica compatível com os resultados da pesquisa de Hemalatha et al. (2015). Porém no estudo comparativo de Matos et al. (2019) houve um tempo maior de escoamento do concreto na faixa de 17,7 e 24,6 segundos, isto é, uma faixa maior com variação maior de tempo com uma característica irregular entre eles. Ambos se encontram na mesma faixa VF 2 que apresenta concretos com menor pressão sobre as fôrmas e maior resistência à segregação, enquanto na faixa VF 1 com um tempo menor de escoamento é designada para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos.

No ensaio da coluna de segregação os três concretos mostraram resultados muito bons caracterizando uma homogeneidade do concreto e com ótima resistência à segregação, com valores pouco variáveis e abaixo de 3%, classificando-se na faixa SR 2 conforme a norma ABNT NBR 15823-1 (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), por ser menor que 15%. Para essa faixa, a norma ABNT NBR 1583-1: 2017 recomenda o CAA para uso em elementos de fundações profundas.

De maneira geral, o comportamento dos concretos nos ensaios de espalhamento, caixa L, T500 e funil V mostrou-se coerente, uma vez apresentaram e aumento da consistência em função do aumento do teor de substituição.

Para classificar o CAA conforme o índice de estabilidade sob fluxo livre, é necessário inspecioná-los visualmente (Figura 4) e, conforme a norma ABNT NBR 15823-1 (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), pode-se concluir que não houve evidência de exsudação ou segregação, sendo isso os três traços podem ser classificados como IEV 0.

Figura 4 - Aspecto visual do CAA

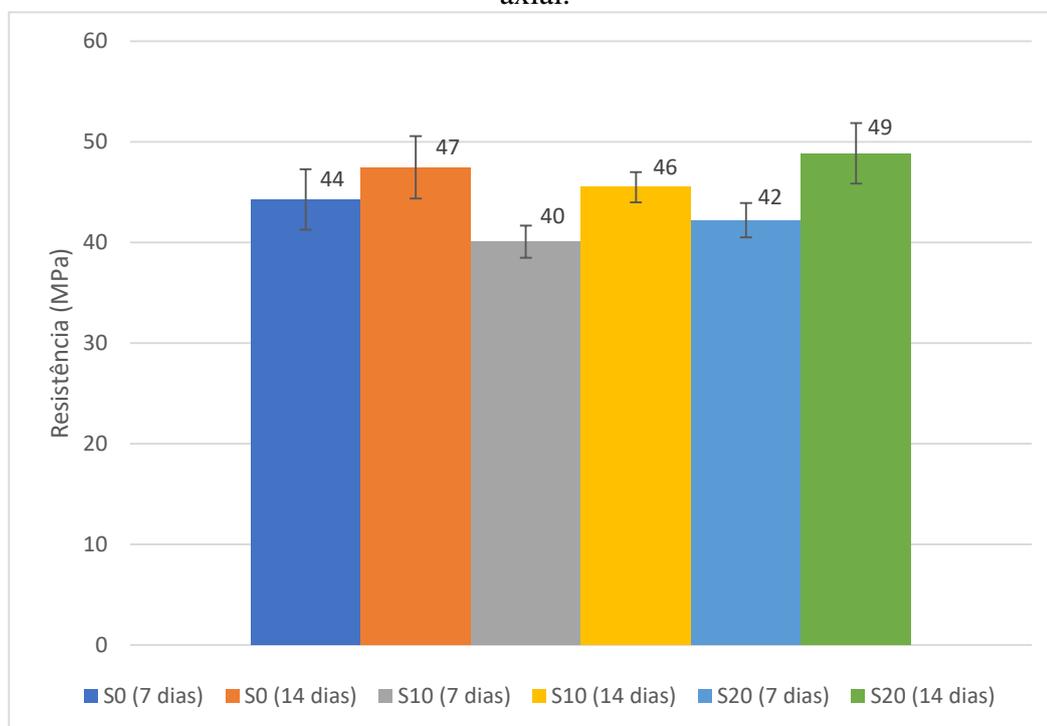


Propriedades no Estado Endurecido

Para o ensaio de resistência à compressão axial, foi seguida a norma ABNT NBR 5739 (ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

Os resultados do ensaio de resistência à compressão (Figura 5) mostram que para todos os traços a resistência à compressão aumentou em função do tempo e que a substituição do cimento por microssílica tem maior impacto sobre esta propriedade nos primeiros 7 dias, com redução de 9% e 4,5% para os traços S10 e S20 quando comparados com o traço S0, mas não sofre impacto aos 14 dias, sendo inclusive 4% superior para o traço S20 em comparação com o traço S0. É importante observar que o traço S20 apresentou o maior resultado de resistência à compressão, mesmo com o menor consumo de cimento de todas as misturas estudadas. Além disso, observa-se um maior incremento na resistência em função do tempo conforme aumentou o teor de substituição, sendo de 6,8% para o traço S0, 15% para o traço S10 e 16,7% para o traço S20.

Figura 5 – Influência da substituição de cimento por microssílica na resistência à compressão axial.



Os resultados do ensaio de resistência à compressão (Figura 5) mostram que para todos os traços a resistência à compressão aumentou em função do tempo e que a substituição do cimento por microssílica tem maior impacto sobre esta propriedade nos primeiros 7 dias, com

redução de 9% e 4,5% para os traços S10 e S20 quando comparados com o traço S0, mas não sofre impacto aos 14 dias, sendo inclusive 4% superior para o traço S20 em comparação com o traço S0. É importante observar que o traço S20 apresentou o maior resultado de resistência à compressão, mesmo com o menor consumo de cimento de todas as misturas estudadas. Além disso, observa-se um maior incremento na resistência em função do tempo conforme aumentou o teor de substituição, sendo de 6,8% para o traço S0, 15% para o traço S10 e 16,7% para o traço S20.

A Tabela 3 apresenta os dados de consumo ($kg \cdot m^{-3}$), índice de ligantes (IL) e índice de carbono (IC) o qual, segundo Daminelli et al. (2010), precisa ter o valor máximo de 5 (kg/m^3 MPa) para ser classificado como ecoeficiente, ou seja, o concreto apesar de ter ficado próximo não chegou ao mínimo de ecoeficiência. Todavia, Daminelli et al. (2010), afirma que esse valor não deve ser visto como um valor absoluto, porque apenas 8 estudos alcançaram essa marca no Brasil e 16 no mundo.

Tabela 3 – Dados sobre a ecoeficiência do CAA com baixo consumo de cimento.

| Traço | IC _{7 dias} ($kg \cdot m^{-3} \cdot MPa^{-1}$) | IC _{14 dias} ($kg \cdot m^{-3} \cdot MPa^{-1}$) | IL _{7 dias} ($kg \cdot m^{-3} \cdot MPa^{-1}$) | IL _{14 dias} ($kg \cdot m^{-3} \cdot MPa^{-1}$) |
|-------|--|---|--|---|
| S0 | 7,94 | 7,40 | 7,94 | 7,40 |
| S10 | 7,74 | 6,82 | 8,60 | 7,58 |
| S20 | 6,53 | 5,64 | 8,16 | 7,05 |

Matos et al. (2019) produziram um concreto auto adensável com 30% de substituição do cimento por cinza volante e obtiveram índice de carbono de $4,6 kg \cdot m^{-3} \cdot MPa^{-1}$, enquanto no presente trabalho o valor mínimo do IC foi de $5,64 kg \cdot m^{-3} \cdot MPa^{-1}$ para o traço S20 aos 14 dias. Para o índice de ligantes foi encontrado o valor mínimo de $7,05 kg \cdot m^{-3} \cdot MPa^{-1}$ para o mesmo traço, que se mostrou o mais ecoeficiente dentre as misturas analisadas. Nesta pesquisa observou-se que o IC diminui com o aumento do teor de substituição do cimento, chegando a uma redução máxima de 24% para o traço S20 aos 14 dias. Para o IL, observa-se o seu aumento com a incorporação da microssílica do traço S0 para o traço S10, porém há uma inversão do traço S10 para o S20, já que para este último, a resistência apresentou um valor superior, o que gerou uma redução de 5% no valor de IL para os 14 dias. É interessante notar que o traço S20 apresentou os menores valores de IC e IL em comparação aos traços S0 e S10, exceto para o IL aos 7 dias de idade. Os resultados conferem um caminho para um concreto ecoeficiente, apesar de não ter atingido a conquista da marca mínima de $5 kg \cdot m^{-3} \cdot MPa^{-1}$. Contudo, isso demonstra que os estudos estão avançando e com o tempo e incentivos aos projetos será possível encontrar mais alternativas que viabilizem o uso de concreto ecoeficiente comercialmente.

Conclusões

A pesquisa aplicou o método de empacotamento de partículas do modelo Alfred através do software EMMA, o que proporcionou um empacotamento mais próximo possível do ideal. O CAA desenvolvido nesse estudo possui certas particularidades, não sendo possível aplicá-lo em todas as situações. Entretanto, pela análise dos resultados o concreto se mostrou eficaz em sua zona de atuação, a qual seria em concretagem de elementos estruturais com baixa densidade de armadura e para fundações profundas. Ainda que sua ecoeficiência não tenha sido alcançada, apresentou um baixo consumo de cimento e alta resistência à compressão, conferindo uma boa relação consumo/resistência.

Enfim, conclui-se que dos três traços o que desempenhou melhor papel de concreto auto adensável mantendo suas principais características como fluidez, coesão e resistência à segregação foi o S10. Todavia como o objetivo do estudo era a elaboração de um concreto

ecoeficiente, o traço que apresentou melhor índice de ligantes e de carbono foi o S20, que, segundo os ensaios, não deixou de exercer seu papel de concreto auto adensável, revelando-se um concreto auto adensável que permanece com suas principais características e ainda possui um baixo consumo de cimento, apresentando um comportamento ecoeficiente.

Referências Bibliográficas

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica** Rio de Janeiro ABNT, , 2003.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15823-1: Concreto autoadensável Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco** Rio de Janeiro ABNT, , 2017a.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15823-2: Concreto autoadensável Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual — Método do cone de Abrams** Rio de Janeiro ABNT, , 2017b.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15823-3: Concreto autoadensável Parte 3: Determinação da habilidade passante — Método do anel J** Rio de Janeiro ABNT, , 2017c.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15823-4: Concreto autoadensável Parte 4: Determinação da habilidade passante — Métodos da caixa L e da caixa U** Rio de Janeiro ABNT, , 2017d.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15823-5: Concreto autoadensável Parte 5: Determinação da viscosidade — Método do funil V** Rio de Janeiro ABNT, , 2017e.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15823-5: Concreto autoadensável Parte 6: Determinação da resistência à segregação — Métodos da coluna de segregação e da peneira** Rio de Janeiro ABNT, , 2017f.
- CASTRO, A. L. DE; PANDOLFELLI, V. C. Revisão: conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. **Cerâmica**, v. 55, n. 333, p. 18–32, mar. 2009.
- DAMINELI, B. L.; KEMEID, F. M.; AGUIAR, P. S.; JOHN, V. M. Measuring the eco-efficiency of cement use. **Cement and Concrete Composites**, v 32, p. 555-562, 2010.
- HEMALATHA, T.; RAMASWAMY, A.; KISHEN, J. M. C. Simplified Mixture Design for Production of Self-Consolidating Concrete. **ACI Materials Journal**, v. 1112, no. 2, Mar-Apr 2015.
- MATOS, P. R.; SAKATA, R. D.; PRUDÊNCIO, L. R. Eco-efficient low binder high-performance self-compacting concretes. **Construction and Building Materials**, v. 225, p. 941-955, 2019.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 3^o ed., 2009.
- RICHARD, P.; CHEYREZY, M. (1995). Composition of reactive powder concretes. **Cement and Concrete Research**. v. 25, n. 7, p. 1501-1511.
- TUTIKIAN, B.F.; DAL MOLIN, D.C.C. **Concreto Autoadensável**. 2.ED. São Paulo: PINI, 2015.