

AVALIAÇÃO DO EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS EM UHPC ATRAVÉS DAS TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

Sthefany de Souza Campos

Ricardo Carrazedo

EESC/USP

sthefany_souza@usp.br

Objetivos

O objetivo principal do projeto é investigar a influência do empacotamento de partículas nas propriedades do Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC), visando otimizar a compactação, reduzir os vazios e aumentar a resistência. Também busca aprimorar as dosagens do UHPC, ajustando-as conforme os materiais empregados.

Métodos e Procedimentos

O projeto iniciou com a realização de ensaios granulométricos dos materiais secos utilizados no processo de concretagem do UHPC. Entre esses materiais, destacam-se a sílica moída em diferentes granulometrias, especificamente as frações SM 200 e SM 500, bem como a areia industrial (AG 80-100). Esses materiais foram submetidos a testes no laboratório do Departamento de Geotecnia (SGS) do campus, utilizando-se os métodos de sedimentação e peneiramento, respectivamente. O cimento Portland de alta resistência inicial (CPV ARI) e a sílica ativa foram analisados a partir de curvas granulométricas previamente obtidas em estudos de referência. Com essas curvas, procedeu-se à execução do empacotamento dos materiais secos mais homogêneos. Foram realizadas combinações com diferentes proporções de massas dos materiais secos, visando determinar a quantidade de material necessária para preencher um volume previamente estabelecido, utilizando-se, para

tal, uma forma cilíndrica de 5x10 cm. Após a análise do comportamento dos materiais secos, foram conduzidos ensaios em estado fresco. Com base em misturas previamente estabelecidas por Oliveira (2019) e Krah (2018), foram realizadas concretagens utilizando essas duas misturas distintas, com o propósito de avaliar o consumo de cimento associado a cada formulação, considerando os materiais empregados, e analisar o quanto isso influencia nas suas propriedades. Por fim, procedeu-se à análise da compactação das misturas, com o objetivo de identificar qual delas apresentou o melhor desempenho.

Resultados

Ao verificar a curva granulométrica dos materiais utilizados, observou-se que as sílicas moídas apresentavam uma quantidade significativa de partículas finas, semelhantes ao silte, devido ao seu tamanho reduzido. A curva granulométrica da Sílica Moída 200 (SM 200) indicou uma maior tendência à classificação siltosa em comparação com a Sílica Moída 500 (SM 500). Diante desse comportamento, foram realizadas combinações de SM 200 com areia industrial (AG 80-100) nas proporções em massa de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de cada material. A melhor combinação para empacotamento foi de 75% de areia e 25% de SM 200. Embora a mistura com 100% de areia tenha proporcionado melhor compactação, o objetivo deste estudo foi analisar diferentes misturas de materiais.

A partir dessas observações, realizaram-se análises para os traços de referência, utilizando os materiais previamente estudados, com o objetivo de comparar os resultados a partir de um volume conhecido, o cilíndrico (5x10 cm). Três corpos de prova foram produzidos com diferentes proporções, variando a quantidade de sílica moída: uma amostra com SM 200, outra com SM 500, e uma terceira contendo 50% de SM 200 e 50% de SM 500.

Primeiramente, a concretagem foi realizada conforme Oliveira (2019), cujo consumo de cimento foi de 757,2 kg/m³, com um traço em massa de 1:1,1:0,5:0,25:0,21, correspondente à ordem dos materiais: cimento, areia industrial, sílica moída, sílica ativa e relação água/cimento (a/c), considerando uma perda de 10%. Para o adensamento do concreto, foram feitas quatro camadas, com 25 golpes em cada uma. Devido às perdas significativas durante as concretagens, o consumo de cimento comparado foi o teórico, calculado a partir da relação entre o traço em massa e as massas específicas dos materiais utilizados. Após 28 dias de cura úmida, foi realizado o teste *sonelastic* no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) para determinar o módulo de elasticidade (E), que avalia a deformabilidade do concreto sob carga. O maior módulo foi obtido na mistura contendo apenas SM 200, com uma média de $E = 52,61 \text{ GPa}$. Após esse período de cura, foi também realizado o ensaio de compressão uniaxial (σ), com a máquina Instron, no LMCC. A maior resistência foi obtida com SM 200, com uma média de $\sigma = 122,74 \text{ MPa}$ aos 28 dias.

Em seguida, o mesmo processo foi realizado com o traço de Krahll (2018), cujo consumo de cimento foi maior, 850 kg/m³, com um traço em massa de 1:1,1:0,5:0,3:0,2 para três corpos de prova cilíndricos, considerando uma perda de 15%. O consumo de cimento teórico calculado foi maior em comparação ao de Oliveira (2019). O sistema *sonelastic* foi realizado após três dias de cura úmida, devido à falta de tempo para a análise aos 28 dias. Apesar do menor tempo de cura, os resultados foram satisfatórios, com o maior módulo de elasticidade ($E = 40,69 \text{ GPa}$), obtido na

amostra com SM 200. Estima-se que os resultados de Krahll se elevariam até os 28 dias. No entanto, a maior resistência à compressão uniaxial foi registrada na amostra com SM 500, com $\sigma = 78,95 \text{ MPa}$ aos 7 dias.

Conclusões

O estudo do empacotamento revelou que a melhor mistura foi com a sílica moída 200 (SM 200), devido ao menor tamanho das partículas em relação à SM 500. Avaliando os traços de Oliveira (2019) e Krahll (2018), o de Oliveira apresentou melhores resultados em módulo de elasticidade, resistência à compressão, compactação e menor porosidade. A proporção ideal foi 1:1,1:0,5:0,25:0,21, com 75% de areia e 25% de SM 200, garantindo melhor desempenho no estado seco e fresco.

Agradecimentos

Com o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq, foi possível realizar este trabalho (Processo 122276/2023-0).

Referências

OLIVEIRA, C. O. **Estudo numérico e experimental da distribuição das fibras de aço em vigas de UHPFRC**. 2019. 153p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil (Estruturas)) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

KRAHL, P. A. **Lateral stability of ultra-high performance fiber-reinforced concrete beams with emphasis in transitory phases**. 2018. 191p. Thesis (Ph.D.) – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2018.