



Estudo da influência da quantidade de fibra de aço no estado fresco do concreto de ultra alto desempenho

Study of the influence of the amount of steel fiber in ultra high performance concrete

Maria Eduarda Simeão Wollmann¹, Wellington Mazer²

RESUMO

O concreto de ultra alto desempenho é uma mistura cimentícia com alta resistência a tração e compressão. Diferente do concreto de alto desempenho, sua mistura é feita sem o uso de agregado graúdo. O CUAD tem sido estudado em países diferentes desde sua criação na década de 90, porém ainda não possui uma dosagem concreta, e sim experimental. Para aumentar ainda mais sua resistência é possível adicionar fibras metálicas, que além de darem a característica de ductilidade ao concreto, permite o descarte do uso de armaduras de ferro em algumas situações. No presente estudo foi avaliado como a quantidade de fibra de aço adicionada influenciava na característica autoadensável do concreto de ultra alto desempenho, através do *Slump flow test*. Os ensaios foram divididos de acordo com a porcentagem extra de pasta e de fibra de aço, respectivamente. Também foi analisado a relação do percentual de pasta com a relação água/aglomerante, que impactava na trabalhabilidade e viscosidade da mistura.

PALAVRAS-CHAVE: Fibra de aço, concreto de ultra alto desempenho, concreto autoadensável.

ABSTRACT

Ultra high performance concrete is a cementitious mixture with high tensile strength and compression. Unlike high-performance concrete, its mixing is made without the use of coarse aggregate. The CUAD has been studied in different countries since its creation in the 90s, but it does not yet have a concrete dosage, but experimental. To further increase its strength it is possible to add metallic fibers, which in addition to giving the characteristic of ductility to the concrete, allows the disposal of the use of iron reinforcement in some situations. In the present study, it was evaluated how the amount of steel fiber added influenced the self-compacting characteristic of ultra high performance concrete, through the *Slump flow test*. The assays were divided according to the extra percentage of paste and steel fiber, respectively. It was also analyzed the relationship between the percentage of paste and the water/binder ratio, which impacted on the workability and viscosity of the mixture.

KEYWORDS: Steel fiber, ultra high performance concrete, self-compacting concrete.

INTRODUÇÃO

Segundo Helene e Andrade (2010) o concreto se destaca como sendo o material de construção principal e mais utilizado na engenharia civil. Sendo assim, a demanda por novos métodos e tecnologias impulsionou os pesquisadores Pierre Richard e Marcel Cheyrezy a criarem o *Reactive Poder Concrete* (RPC) ou Concreto de Pós Reativos (CPR), na cidade de Bouygues na França em 1994. Diferente da definição formal de concreto, decidiram não utilizar o agregado graúdo, realizando também outras substituições com o objetivo de se ter uma mistura mais homogênea e densa, com baixa relação água/aglomerante e com adição de fibras de aço. Isso gerou um concreto de alta

¹ Bolsista da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil E-mail: Wollmann@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 1298625209357115.

² Docente no Curso de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil E-mail: Wmazer@utfpr.edu.br. ID Lattes: 4548225471488796.



tenacidade e ductilidade, com menor ocorrência de fissurações. (RICHARD E CHEYREZY, 1995)

O concreto foi pela primeira vez chamado de Concreto de Ultra Alto Desempenho (CUAD) ou *Ultra High Performance Concrete* (UHPC) pelos pesquisadores De Larrard e Sedran, em 1994. Os pesquisadores enfatizaram em sua pesquisa a importância do estudo da densidade do empacotamento de partículas, atingindo uma resistência final de 236 MPa utilizando uma relação água/aglomerante de 0,14. (DE LARRARD E SENDRAN, 1994). Entretanto, somente em 2013 foi oficializado o nome CUAD, pela Associação Francesa de Engenharia Civil (AFGC). Foi definido que este concreto apresenta resistência a compressão entre 150 MPa e 250 MPa, e seus componentes principais, que são diferentes do concreto convencional. (AFGC, 2013)

No Brasil, a primeira construção utilizando o CUAD foi em São Paulo, onde era necessário um material leve para um elemento de fachada que não gerasse sobrecarga à estrutura já construída. Neste caso o CUAD foi escolhido devido a diminuição do peso global da configuração do concreto no projeto. Embora o CUAD já se encontre no mercado ainda não há uma técnica de dosagem ou fórmulas para a porcentagem de cada componente, o que deve ser determinado experimentalmente. (CHRIST, R. et al, 2019).

O estudo do empacotamento de partículas influencia nas diferentes propriedades do material (KLEIN et al, 2020), afetando inclusive a quantidade de pasta a ser utilizada na confecção do concreto (MAIA, et al, 2023). O estudo do uso de fibras no CUAD deve considerar a quantidade ótima e as propriedades da fibra, como fator de forma e material de confecção (WU et al, 2018; LUO et al, 2023).

Apesar de ainda não existir um método de dosagem específico para CUAD, alguns estudos já foram efetuados utilizando a técnica de empacotamento úmido (WANG et al, 2019) e uma metodologia mais completa que considera as técnicas de empacotamento granular e úmido assim como a quantidade de pasta na mistura (MAIA, 2021). Pesquisas mais atuais já estão analisando o uso de nanotecnologia no CUAD (YOO et al, 2022).

Com base no exposto acima, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o efeito da adição de fibra de aço nas propriedades do estado fresco do concreto de ultra alto desempenho, mais particularmente a propriedade de ser auto-adensável, com diferentes teores de pasta de cimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram o cimento Portland CP-V, dois tipos de agregados miúdos com granulometrias diferentes, pó de quartzo, micro-sílica, água, aditivo superplastificante e fibra de aço.

Foi escolhido o cimento Portland CP-V por conter menor quantidade de adições, em relação aos demais cimentos. As areias utilizadas foram classificadas como “fina” e “média”, possuindo uma dimensão máxima característica de 0,6mm e 4,75mm. A micro-sílica e o pó de quartzo utilizados possuem diâmetros máximos de 0,5µm e 10µm, respectivamente. O aditivo utilizado foi um superplastificante tipo II à base de policarboxilatos.

Para a determinação da dosagem de aditivo a ser adicionada ao concreto foi utilizado o ensaio do mini cone de Kantro, ou “Mini Slump”. Foi verificado que a porcentagem de aditivo foi de 6% em relação à massa de aglomerantes.

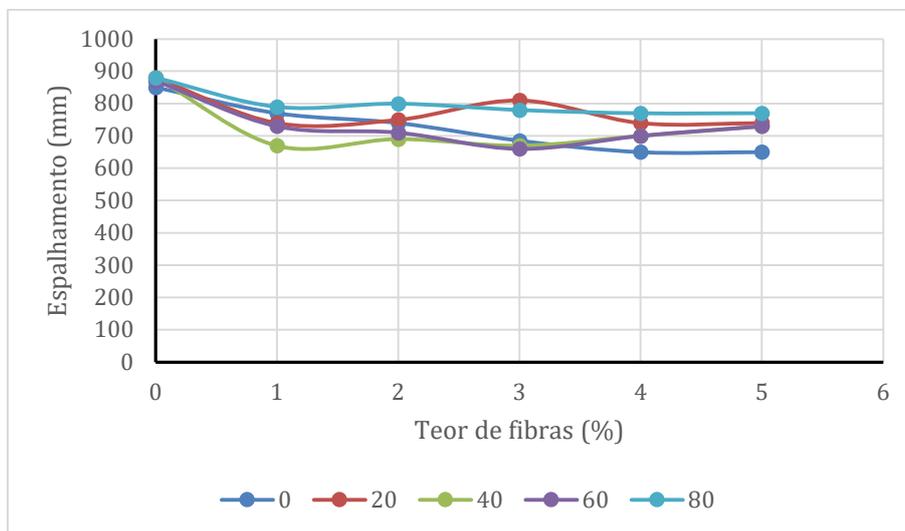
O traço de concreto foi determinado de acordo com Maia (2021), utilizando os teores de excesso de pasta de 0%, 20, 40, 60 e 80%. A fibra utilizada possui a classificação R – II, segundo a NBR 15530 (ABNT, 2007), e seu percentual variou de 0% a 5%, com incremento de 1%, em relação à massa de aglomerantes.

Para a análise da influência do teor de fibras de aço nas propriedades do concreto fresco, foram utilizados os ensaios de *Slump Flow Test* e T_{500} , de acordo com a NBR 15823-1 (ABNT, 2017), por se referir a um concreto auto-adensável.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

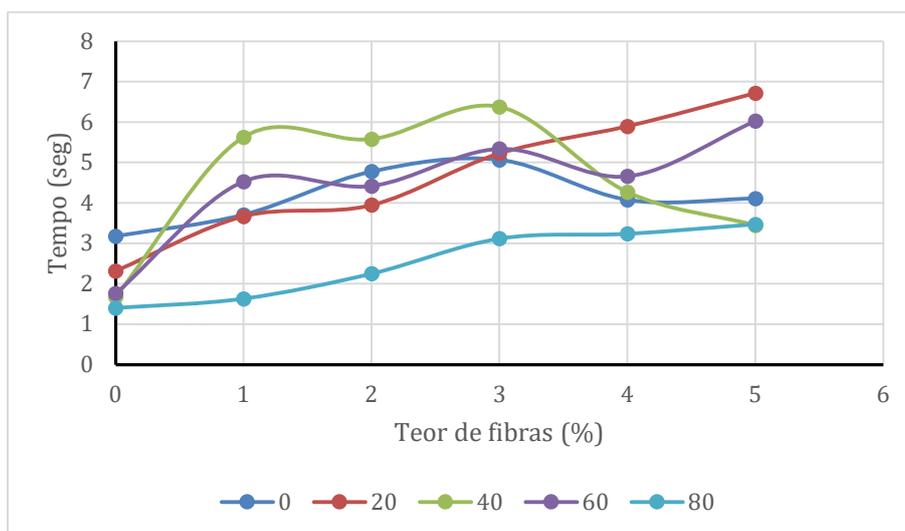
Nas Figuras 1 e 2 estão apresentados os resultados do *slump flow test*, do T_{500} .

Figura 1 - Resultados do Slump Flow Test.



Fonte: autores (2023)

Figura 2 - Resultado do T_{500} .



Fonte: autores (2023)



Os concretos de referência (teor de fibra de 0%), para todos os teores de excesso de pasta, obtiveram espalhamento superior a 850mm, sendo classificados como SF 1, de acordo com a NBR 15823-1 (ABNT, 2017) quanto à sua fluidez e escoamento. Na Figura 1 é possível observar que, para o concreto de referência, o aumento no teor de fibras conduz a uma redução no espalhamento do concreto, porém para os demais teores de excesso de pasta ocorre uma redução no espalhamento ao se adicionar as fibras, no entanto o aumento no teor de fibras não altera de forma significativa o espalhamento. Cabe citar que para o teor de 3% de fibras foi observado um comportamento irregular no espalhamento.

Já para o ensaio T_{500} é possível observar que existe influência do teor de fibras, pois o aumento desse teor conduz a um aumento no tempo para que o espalhamento atinja a marca de 500mm. Também é possível observar que o aumento no teor de pasta também influencia, mas de modo inversamente proporcional, pois o seu aumento leva a uma redução no tempo.

Na Tabela 1 é apresentada a relação água/aglomerante (a/a) utilizada nos diferentes traços de concreto.

Tabela 1 – Relação água/aglomerante

Porcentagem de excesso de pasta	Relação Água/ Aglomerante
Referência	0,25
20%	0,23
40%	0,18
60%	0,16
80%	0,16

Fonte: Autores (2023)

Nesta tabela é possível observar que com o aumento do teor de pasta é possível reduzir a quantidade de aditivo superplastificante e manter o espalhamento acima de 850mm para o traço de referência.

CONCLUSÕES

Fazendo a análise dos resultados do *slump flow test* é possível inferir que o uso de fibras diminui o espalhamento, porém o aumento da porcentagem de fibras exerceu pouca influência nos resultados.

Já em relação a viscosidade aparente, mais de 80% dos casos de classificaram como VS 2, indicando a influência do teor de fibras nessa propriedade.

Também é possível verificar que o teor de pasta influencia nas propriedades do concreto no estado fresco, pois o aumento do teor de excesso de pasta permitiu uma diminuição do consumo de aditivo superplastificante para manter as mesmas propriedades.



Para trabalhos futuros, um possível estudo seria o de aumentar a porcentagem de fibra utilizada para análise da viscosidade e da resistência a compressão do CUAD.

Agradecimentos

Agradeço a UTFPR pela disponibilização de materiais, laboratórios e equipamentos para este estudo, assim como o professor Wellington Mazer e a estudante de mestrado Ana Carolina Seguro Cury pela orientação e pelo seu tempo disponibilizado a me ajudar no presente trabalho.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado miúdo - **Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro/RJ, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15530: **Fibras de aço para concreto: especificação**. Rio de Janeiro/RJ, 2007.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16672: Agregados – **Determinação da massa unitária e do índice de vazios**. Rio de Janeiro/RJ, 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-1: **Concreto autoadensável. Parte 1 – Classificação, controle e recebimento no estado fresco**. Rio de Janeiro/RJ, 2017.

AFGC. **Documents scientifiques et techniques Béton fibrés à ultra-hautes performances – recommandations**. In: (Edition Révisée, Ed) 2013, France.

CHRIST, R. et al. **Conceitos e Aplicações do Concreto de Ultra Alto Desempenho: Panorama Nacional e Internacional**. Diálogos, Economia e Sociedade. 2019.

DE LARRARD, F; SEDRAN, T. **Optimization of Ultra-High-Performance Concrete by the use of a packing model**. Cement and Concrete Research, Vol 24, No 6, pp. 9771009, 1994. Elsevier Science Ltd.

HELENE, P; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland. Materiais de Construção Civil e Princípios da Ciência e Engenharia de Materiais**. IBRACON, 2010.



KLEIN, N. S.; LENZ, L. A.; MAZER, W. **Influence of the granular skeleton packing density on the static elastic modulus of conventional concretes.** Construction and Building Materials 242 (2020) 118086

LUO, X.; ZHANG, S.; LI, A.; ZHANG, D. **Fiber content optimization of UHPC and R-UHPC oriented to tensile behavior and cost reduction.** Construction and Building Materials 395 (2023) 132314

MAIA, A. T. **Proposição de um método de dosagem racional de concretos de ultra alto desempenho.** 2021. Tese de doutorado – curso de Engenharia civil, UTFPR, setembro, Curitiba, 2021.

MAIA, A. T.; FERREIRA, E. O.; MAZER, W. **Analysis of the influence of excess cement paste content on the compression strength of UHPC.** Contribuciones a Las Ciencias Sociales, São José dos Pinhais, v.16, n.10, p. 20420-20441, 2023.

RICHARD, P; CHEYREZY, M. **Composition of reactive powder concretes.** Cement and Concrete Research, Vol 25. No 7, pp. 1501-1511.1995. Elsevier Science Ltd.

YOO, D; OH, T.; BANTHIA, N. **Nanomaterials in ultra-high-performance concrete (UHPC) – A review.** Cement and Concrete Composites 134 (2022) 104730.

WANG, X.; YU, R.; SONG, Q.; SHUI, Z.; LIU, Z.; WU, S.; HOU, D. **Optimized design of ultra-high performance concrete (UHPC) with a high wet packing density.** Cement and Concrete Research 126 (2019) 105.

WU, Z.; KHAYAT, K. H.; SHI, C. **How do fiber shape and matrix composition affect fiber pullout behavior and flexural properties of UHPC?** Cement and Concrete Composites 90 (2018) 193–2.