



II Simpósio de Pesquisa do Ecosistema Ânima:
Juntos pelo Conhecimento: um novo saber cria um novo amanhã

O EFEITO DA QUANTIDADE DE FIBRAS DE AÇO CURTAS NO ENSAIO DE ARRANCAMENTO DUPLO BLOCO EM ARGAMASSAS DE ALTA RESISTÊNCIA

Alicia Martinez Batista¹ – (aliciamartinez.0828@aluno.saojudas.br); Jonatas Santana Maia² – (jonatasmaia.6264@aluno.saojudas.br); Ronney Rodrigues Agra³ – (agra@thmestatistica.com); Tiago Haddad Marum⁴ – (marum@thmestatistica.com); Stefany dos Anjos Coronel⁵ – (stefany_anjos@hotmail.com); Dr Ramoel Serafini⁶ (ramoel.serafini@saojudas.br - orientador).

RESUMO:

O uso do Concreto Reforçado com Fibras de Aço (CRFA) vem sendo comumente utilizado nas obras até mesmo como alternativa ao concreto armado, enfatizando a influência da interação entre fibras e matriz de cimento. O estudo investiga o impacto das diferentes configurações das quantidades de fibras curtas de aço com gancho no comportamento ao arrancamento em ensaio de duplo bloco. Amostras em formato de *dogbone* foram produzidas para o teste de arrancamento. Os resultados indicam que as fibras curtas utilizadas apresentaram comportamento frágil em tração, e, assim, o comprimento crítico afetou seu desempenho. Não houve diferença significativa na tensão de ruptura das fibras de aço entre as diferentes configurações. Conclui-se que essas fibras curtas não são adequadas para elementos estruturais.

INTRODUÇÃO:

A partir do desenvolvimento do CRFA, este foi apresentado como uma alternativa de aplicar outro método construtivo que tem por característica possuir uma durabilidade superior ao concreto armado frente a agentes agressivos que favorecem a corrosão das armaduras de aço (GARCEZ, 2005). Outro fator que contribui para esse melhor desempenho frente à corrosão é o fato de que não há a propagação da oxidação por contato entre as fibras uma vez que elas são dispostas na matriz de concreto de forma descontínua (ABDALLAH, 2017). A dispersão e aleatoriedade das fibras de aço nos elementos estruturais podem ser benéficas já que as fibras são orientadas em todas as direções favorecendo a isotropia do material, ao contrário das barras de aço contínuas (ABDALLAH, 2017). No Brasil, a norma ABNT NBR 16935 (ABNT, 2021), passou a estabelecer critérios para o emprego único de CRFA, vindo assim que o país está

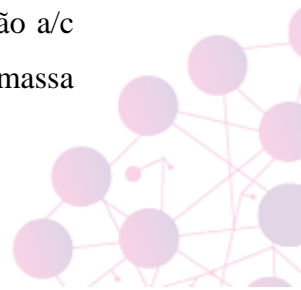
caminhando para inovar e apresentar estes novos métodos construtivos. Muitas pesquisas vêm realizando demonstrações do comportamento do CRFA, principalmente sobre pós-fissuração. A eficiência da aplicação de fibras em uma matriz cimentícia também está vinculada a resistência do material da fibra. Para um mesmo teor de fibras, quanto maior o fator de forma (ff) da fibra, maior serão as resistências pós-fissuração obtidas pelo CRFA (FIGUEIREDO, 2011). Outro fator significativo é a compatibilidade entre a resistência à tração da fibra e o seu comprimento de ancoragem que é expresso através do conceito de “comprimento crítico”. O comprimento crítico é o valor teórico de comprimento da fibra que faz com que a tensão desenvolvida na mesma seja igual à tensão de ruptura, favorecendo a ruptura da fibra em detrimento do arrancamento (FIGUEIREDO, 2000). Um dos ensaios mais aplicados na engenharia para caracterizar as fibras embebidas em concreto é o ensaio de arrancamento de fibra única. Este ensaio possui, por característica, alta variabilidade de resultados o que resulta na necessidade de uma grande quantidade de espécimes testados para reduzir a dispersão (SERAFINI et al., 2020). Alguns autores na literatura demonstraram que o uso de uma maior quantidade de fibras reduz a variabilidade do ensaio (MINEIRO, 2022). Neste contexto, o presente estudo tem o objetivo de avaliar a influência do número de fibras no comportamento ao arrancamento de fibras de aço. O estudo foi conduzido utilizando fibras de aço curta com gancho embebidas em uma matriz cimentícia de alta resistência. O estudo propõe avaliar a influência do uso de 1, 2 e 4 fibras na resposta de arrancamento obtida para fibras de aço curtas com gancho. A importância do estudo está para contribuir a entender a influência da quantidade de fibras no ensaio de arrancamento.

PALAVRAS-CHAVE:

Influência da quantidade de fibras; Tensão de Ruptura; Comprimento crítico.

MÉTODO:

O objeto desta pesquisa é avaliar se existe influência na quantidade de fibras de aço curta com gancho no comportamento ao arrancamento. O ligante hidráulico utilizado no estudo foi o Cimento CP V, de alta resistência inicial, resistente a sulfatos. Para promover o empacotamento de partículas, foi acrescentado areia de rio e areia artificial como agregados miúdos. Para aumentar a fluidez da mistura e manter a relação a/c baixa foi utilizado um super-plastificante policarboxilato. A dosagem da argamassa



utilizada neste estudo toma como base a dosagem de concreto com fibras utilizado para produção dos segmentos pré-moldados dos túneis da Linha 6 do Metrô de São Paulo (SERAFINI et al., 2020). O traço de concreto foi adaptado considerando o uso apenas de cimento. Já a fibra de aço escolhida foi uma fibra de aço curta, tipo A1, trefilada a frio com gancho simples, com fator de forma 44, diâmetro de 0,50mm e comprimento de 30 mm, de acordo com o fabricante. Com auxílio de um misturador planetário ARGAMASSADERIA modelo AG-5, capacidade total de 5L, foi realizado a mistura da argamassa.

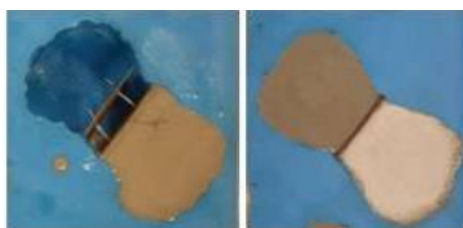


Fig.1 – Produção dos *dogbones* para o ensaio de arrancamento

Os corpos de prova foram produzidos no formato conhecido como *dogbones* para o ensaio de arrancamento das fibras. A avaliação da influência da quantidade de fibras no resultado do ensaio de arrancamento teve a moldagem de 16 *dogbones* por configuração, ou seja, a produção de 48 espécimes.

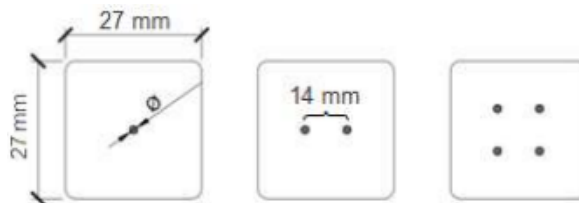


Fig.2 – Disposição das fibras de acordo com sua configuração.

O ensaio de arrancamento deste estudo foi realizado no equipamento eletromecânico universal EMIC DL 10000, em configuração de ciclo aberto (open-loop). A célula de carga com capacidade máxima de carga de 10 kN e precisão de 1 N é colocada na máquina para ler a força feita para o arrancamento da fibra enquanto o deslizamento entre a fibra e a matriz é determinado por leituras de deslocamento do pistão, controlado por uma taxa de 1 mm/min. O ensaio foi previsto com um limite de deslocamento da máquina de 10 mm. A Tensão de Ruptura Média calculada com o valor da força máxima média das 16 amostras de cada configuração distribuída para cada fibra pelos resultados vistos e obtidos, foram agrupados para análise e discussão.



RESULTADOS E DISCUSSÕES:

O objeto desta pesquisa é avaliar se existe influência na quantidade de fibras de aço curta com gancho no comportamento ao arrancamento.



Fig.3 – Corpos de Prova pós Ensaio de Arrancamento.

Todas as fibras das três configurações das amostras produzidas se romperam durante ensaio de arrancamento. O tempo máximo de cada amostra foi de 60s na máquina de teste. Assim, na fase prática, reconhece-se que as fibras curtas utilizadas nesta pesquisa aderiram muito bem a matriz cimentícia, porém apresentam uma força de tração muito baixa visto seu rompimento pela carga aplicada no ensaio de arrancamento. Portanto, a aderência entre fibra-matriz foi efetiva, no entanto, não foi visto o teste de arrancamento devido ao rompimento perpendicular das fibras localizado em seu centro. Sendo assim, é verificado a Tensão x Deslocamento da fibra curta, com o objetivo de entender a Tensão de Ruptura das fibras.



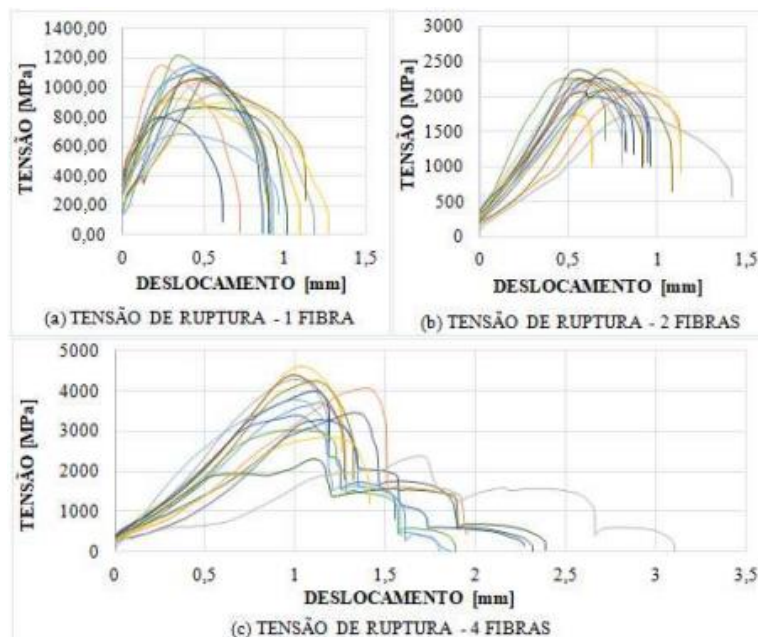
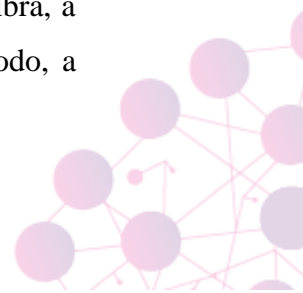


Gráfico 1 – Resultados do ensaio de arrancamento para (a) 1 fibra (b) 2 fibras e (c) 4 fibras.

O Gráfico 1 apresenta o gráfico da Tensão x Deslocamento das três configurações e é possível observar um comportamento diferente entre estes grupos de amostras. A tensão de ruptura média para a configuração contendo apenas uma fibra foi de 1017,06MPa. Nessa configuração, obteve-se um desvio padrão de 149,00MPa. Para a configuração de 2 fibras, o cálculo da tensão de ruptura média apresenta 1029,58MPa por fibra na amostra, com desvio padrão de 190,35MPa. Já a configuração de 4 fibras mostra aproximadamente 911,49MPa por fibra dentro de cada amostra, desvio padrão de 180,70MPa. Assim, observado nos gráficos a alteração no comportamento de tensão por deformação de acordo com quantidade de fibras ainda que as amostras seguem com a mesma atuação dentro da mesma configuração. A análise utilizando o método estatístico ANOVA resultou em $p = 0,118$ quando comparados os resultados obtidos para o ensaio com 1, 2 e 4 fibras. Entende-se não haver diferença significativa entre as Tensões de Ruptura das diferentes configurações das amostras. E a análise conduzida através do teste de *Tukey* demonstrou que não há diferença significativa entre a tensão de ruptura de cada fibra em função da configuração adotada.

Assim sendo, o meio de entender os resultados obtidos com as fibras curtas usadas, é analisar o comprimento crítico (L_c). Quando a força de arrancamento posta ao comprimento embutido na matriz não é suficiente para produzir a ruptura da fibra, a fibra tem um comprimento menor que o comprimento crítico (L_c). Deste modo, a



tensão na fibra no ponto de localização da fissura é menor que a tensão de ruptura (σ_{fu}). No caso da fibra de aço curta utilizada, a tensão proporcionada foi maior que a tensão de ruptura. Como trata-se de uma fibra categorizada como curta, uma estratégia para viabilizar o uso dessa fibra seria investir na melhoria das propriedades a tração da mesma, favorecendo a ocorrência do arrancamento.

CONCLUSÕES:

Foram produzidos 48 corpos de prova em três diferentes configurações de amostras, com 1, 2 e 4 fibras, embebidas em uma matriz cimentícia de alta resistência em formato de dogbone. Para o ensaio de arrancamento, todas as fibras curtas utilizadas na pesquisa romperam, caracterizando um comportamento frágil a tração, não alcançando o objetivo proposto. A tensão desenvolvida na fibra foi muito maior do que a tensão aplicada no teste, não sendo adequado esta fibra para fins de uso estrutural. Logo, o resultado percebido foi o entendimento de comprimento crítico estando diretamente ligada a resistência da fibra, afetando o desempenho da fibra quando usada para concreto com fibras. Em vista disto, pode ser sugerido a melhoria da fibra, garantindo melhor a ductilização do concreto a tração. Não apenas se referir ao tipo de ensaio e a qualidade deste, entende-se que a qualidade dos materiais empregados é de extrema importância para a assertividade do que se quer investigar. Conclui-se a necessidade de comprovar a qualidade do material ser de extrema importância antes de ser empregado para determinado fim.

REFERÊNCIAS:

ABDALLAH, S. M. Bonding Mechanisms and Strength of Hooked-end Steel Fibre Reinforced Cementitious Composites. Tese de Doutorado. Brunel University London, London, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16935: Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras — Procedimento. Rio de Janeiro, 2021.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto Reforçado com Fibras. Tese de Livre Docência. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.



FIGUEIREDO, A. D. Concreto com Fibras de Aço. Boletim Técnico da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

GARCEZ, E. O. Análise Teórico-Experimental do Comportamento de Concretos Reforçados com Fibras de Aço Submetidos a Cargas de Impacto. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MINEIRO, M. L. R. Comportamento ao arrancamento de fibras de aço: ensaios experimentais, previsões analíticas e modelagem numérica. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

SERAFINI, R.; AGRA, R.R.; BITENCOURT JR, L.A.G.; DE LA FUENTE, A.; DE FIGUEIREDO, A.D. Bond-slip response of steel fibers after exposure to elevated temperatures: Experimental program and design-oriented constitutive equation. Composite Structures, v. 255, p. 112916, 2021

