

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA FIBRA METÁLICA INCORPORADA NO CONCRETO NO ENSAIO DE VELOCIDADE DO PULSO ULTRASSÔNICO POR MEIO DE SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

Autora: Cláudia Aline de Souza Martins

Orientador: Vladimir Guilherme Haach

Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo

e-mail: claudiaaline16@usp.br

Objetivos

O presente trabalho busca avaliar numericamente a influência da adição de fibras metálicas no ensaio de velocidade do pulso ultrassônico em concretos reforçados com fibra. Para tal, estabelece-se os seguintes objetivos específicos: Desenvolver um algoritmo 3D que simula a distribuição aleatória de fibras em um meio contínuo, calcula o tempo em trajetória e atualiza a trajetória de medição do software TUSom. A partir da implementação do software em três dimensões busca-se investigar qual a influência da fibra nos ensaios de pulso ultrassônico e a viabilidade de modelar em 3D ou 2D.

Métodos e Procedimentos

Visando alcançar os objetivos apresentados o projeto se estruturou em duas grandes áreas: implementar o software TUSom 3D e realizar as simulações numéricas.

Para o desenvolvimento do código foram realizadas as seguintes etapas: implementar a distribuição aleatória de fibras em um meio contínuo; Definir pontos e linhas de medição referentes ao posicionamento dos transdutores; Desenvolver o código que calcula o tempo de propagação da onda com base na trajetória de medição e nas velocidades nodais do contínuo, por meio da interpolação polinomial da vagarosidade (grandeza adotada como o

inverso da velocidade); Implementar a função de atualização de trajetórias com base no perfil de velocidades para o sistema tridimensional, para isso foi encontrado o percurso mais veloz através do algoritmo de DIJKSTRA utilizando analogia com grafos de peso positivo.

Uma vez que o software estava apto a realizar simulações, três modelos foram estudados, como mostrado na figura 1, todos buscando avaliar o mesmo cubo de lado de 15cm. O modelo apresentado mais à direita na figura 01 representa apenas a fatia central do modelo completo do cubo (simulação realizada com apenas um terço da geometria e das fibras).

Para cada caso foram simuladas 5 distribuições aleatórias de fibras. A quantidade de fibra empregada em cada análise está apresentada na tabela 01. Em todos os cenários foram consideradas fibras de 3 cm com velocidade de 5900 m/s e concreto como meio homogêneo com velocidade de 4500 m/s.

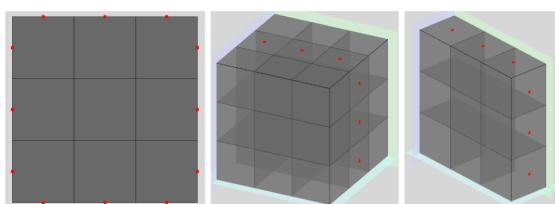


Figura 1: Modelos simulados no TUSom 2D e 3D

Resultados

Para os três modelos apresentados em *Métodos e Procedimentos* foi simulada a

velocidade de propagação da onda no corpo de prova de concreto sem fibras e em todos os casos foi obtida a velocidade de 4500,0 m/s. As velocidades médias de cada simulação considerando as fibras estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1: Velocidade da onda nos três modelos

Modelo	Nº fibras	V [m/s]	σ [m/s]
3D A - completo	150	4520,1	11,2
3D B - fatia	50	4524,5	10,0
	200	4576,8	5,0
2D	50	4702,3	21,0
	10	4535,5	5,7

As velocidades obtidas para o modelo 3D A e para o 3D B estão coerentes, o que demonstra que para determinada direção de medida existe uma vizinhança limitada em que a fibra causa impacto na velocidade do pulso. Na figura 2 é apresentada uma vista superior de um exemplo representativo do desvio da trajetória fora do plano na simulação do modelo 3D A.

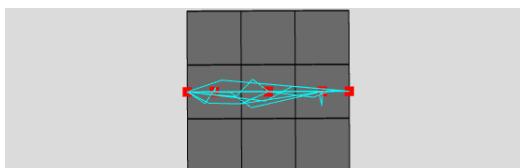


Figura 2: Top view of updated trajectory in full 3D model

Já ao comparar os resultados da simulação 2D e 3D nota-se que a velocidade é maior no 2D tendo em vista que todas as fibras inseridas são achatadas ao plano. Uma alternativa seria ajustar o número de fibras, por exemplo considerando a quantidade de fibras em 1 cm, como no caso da simulação com 10 fibras. Contudo, nesse cenário as fibras ainda estariam sendo orientadas no plano da seção, o que não ocorre no modelo real.

Ainda, comparando as simulações realizadas com quantidades de fibra distintas no mesmo modelo, como no caso do modelo 3D B e 2D observa-se que com o aumento do número de fibras a velocidade também cresce, contudo o

aumento foi significativamente mais expressivo no ambiente 2D

Conclusões

O trabalho mostrou que a presença de fibras de aço altera a velocidade do pulso ultrassônico no corpo de prova. Ainda, as simulações em 3D são mais adequadas para representar numericamente as condições reais. Contudo o tempo de processamento é significativo, por exemplo, para o modelo com 150 fibras a simulação levou 40 min ao passo que para a simulação em 2D foram gastos 2 min. Uma alternativa viável é reduzir o modelo, como no caso da simulação 3D B, cujo tempo de processamento foi de 20 min.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais por serem exemplos tão belos de dedicação, aos meus irmãos por me ajudarem a manter o equilíbrio, ao meu orientador por levar o lema “estou de portas abertas para ajudar” ao pé da letra e por sua imensa fé, ao CNPq viabilizar essa pesquisa.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR. 8802; Concreto Endurecido—Determinação da Velocidade de Propagação de Onda Ultrassônica. Rio de Janeiro, Brasil, 2019.

CAMPO RAMÍREZ, Fernando. Detecção de danos em estruturas de concreto por meio de tomografia ultrassônica. 2015. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

FRANÇA, Luis Henrique Pereira. Caracterização e modelagem numérica do comportamento não linear do concreto de ultra-alto desempenho reforçado com fibras metálicas. 2021.

SOUZA, José Renan Neves. Estudo numérico da heterogeneidade do concreto por meio da variação da velocidade do pulso ultrassônico. 2023. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.