ANÁLISE MULTIFRACTAL EM SUPERFÍCIES DE FRATURA EM CONCRETO E ARGAMASSAS.

Gustavo Treml (PIBIC/UEPG), Lucas Máximo Alves (Orientador), e-mail: lucasmaximoalves@gmail.com.

Universidade Estadual de Ponta Grossa/Departamento de Engenharia de Materiais.

Engenharias, Engenharia Mecânica, Mecânica dos Sólidos.

Palavras-chave: Argamassa, fratura, fractal.

Resumo

A análise multifractal possui uma grande gama de aplicações, dentre estas, pode vir a ser empregada como uma importante ferramenta de estudo para investigação de falhas em materiais, pois a partir da superfície de fratura podemos obter uma infinidade de informações relevantes com relação a análise de tal superfície. Desta forma temos que a geometria fractal vem a complementar bem como superar diversos aspectos da geometria euclidiana, tendo maior espaço para uma análise mais apurada de formas e superfícies caóticas, como a rugosidade decorrente da fratura dos corpos de prova de argamassa a serem analisados. Tendo isso em mente foi utilizado um molde de acordo com o anexo A da NBR 13279 para fazer corpos de prova de diferentes traços, que posteriormente foram fraturados em um ensaio de flexão em uma máquina de ensaios universal, assim obtendo o perfil da trinca bem como a rugosidade da superfície fraturada. Por meio da análise dos corpos de prova já fraturados foram obtidos os dados referentes a trinca e superfície de fratura para aplicar estes a metodologia fractal utilizando o auxílio de softwares e métodos de análise como o Sand-Box e o Box-Counting.

Introdução

O uso de concreto e argamassa está presente em grande parte da construção mundial de modo que tais materiais estão sujeitos a falhas estruturais proveniente a diversos fatores que circundam os aspectos químicos e físicos dos mesmos. Para o estudo destas características bem como o estudo das superfícies de fratura, foi utilizado o cimento Portland CP II - F - 32, o qual apresenta fíler em sua composição, sendo este normatizado pela NBR 11.578.

O ensaio de flexão de três pontos proporciona diversos dados posteriores a fratura do material, como força aplicada e quanto o material deforma com certa carga aplicada, de modo que é possível calcular diferentes parâmetros inerentes ao material. (3)

O campo da análise multifractal ainda é visto como uma vertente recente de pesquisa a qual apresenta muito potencial para descrever superfícies que apresentam irregularidades ou como no caso de uma superfície de fratura rugosidade, de modo que a descrição de tal superfície se dá de forma mais detalhada e precisa através da geometria fractal. A superfície de fratura como a presente neste estudo, para superfície de fratura em argamassa, possui certa rugosidade, sendo assim um fractal auto-afim, de modo que a morfologia fraturada pode vir a ser caracterizada por sua natureza fractal. As dimensões fractais generalizadas podem vir a ser obtidas através da equação 1. (2)

$$D_q = \frac{\tau(q)}{(q-1)} = \frac{ln \sum_{i=1}^{N} p_i^q}{(q-1) \ln \varepsilon} \quad (1)$$

Na equação 1 é dado q é um índice de multifractalidade e ε é a escala de escrutinização da trinca, em que a variação de Dq com q representa comportamento fractal.

A equação 1 dentre outras estão inseridas nos softwares utilizados para uma aplicação facilitada da metodologia multifractal ao estudo em questão. O software utilizado foi o Projeto Fractal, criado pelo professor Lucas Máximo Alves, em que tal programa apresenta linguagem Delphi. (2)

Para a análise dos dados obtidos do programa de computador, que foram provenientes da superfície de fratura, foi utilizado de dois métodos, o método de análise Sand-Box e o Box-Counting, em que o método Box-Counting consiste em dispor sobre a imagem a ser analisada uma malha repleta de quadrados, estes tendem a preencher a figura analisada completamente, tendo assim o número total de quadrados utilizados para obter isso. Já o método Sand-Box é semelhante ao método Box-Counting, porém este método a malha não é disposta toda de uma vez mas sim de forma progressiva e com espaçamentos bem determinados de modo aos quadrados que estão sobre a imagem são contados, tendo assim o total para aplicar o método. Em ambos os métodos é obtido a dimensão fractal, por constante na literatura o uso do método Box-Counting para obter tal dimensão fractal de modo a ser mais utilizado que o método Sand-Box. (1)

Material e Métodos

Para a formulação das argamassas foi utilizado de diferentes traços, variando a porcentagem de areia e água de acordo com a quantidade de cimento, de modo que para determinar a quantidade de material que seria disposta no molde para preparo dos corpos de prova, foi utilizado a seguinte relação.

$$C = \frac{1\ m^3}{\frac{\alpha}{\Upsilon_c} + \frac{\beta}{\Upsilon_s} + \frac{\delta}{\Upsilon_w}} \quad (2)$$

Nesta temos que C representa o consumo de cimento para 1m³ de argamassa, α, β e δ são as proporções em massa de cimento, areia e água, referente ao respectivo traço utilizado e Υ_c, Υ_s e Υ_w são as massas específicas para o cimento, areia e água respectivamente.

A união mecânica dos materiais já com as quantidades separadas foi feita em uma argamassadeira, de modo a seguir as instruções presentes na NBR 7215.

Para obtenção dos corpos de prova que foram analisados, foi preparado um molde de acordo com o anexo A da NBR 13279.

A fratura dos corpos de prova foi feita na Máquina Universal de Ensaios Shimadzu AG-1 10 kN, sendo realizado o ensaio de flexão de três pontos. (3)

Com os corpos de prova já fraturados, foram obtidas imagens do caminho da trinca em cada amostra fraturada, e com o auxílio de softwares de edição, as imagens dos perfis de trinca foram tratadas para obter um formato compatível com um software para analisar a imagem, assim obtendo os dados necessários para aplicar a análise multifractal das superfícies de fratura.

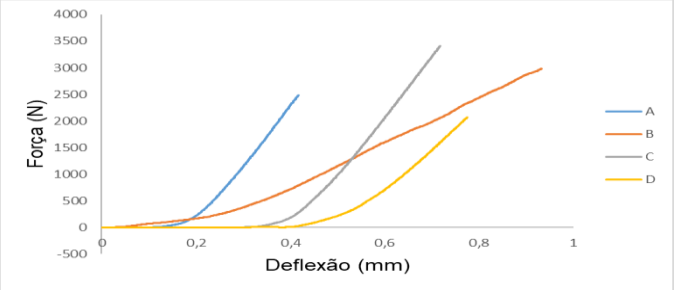
Este estudo consiste em aplicar tais dados aos métodos Sand-Box e Box-Counting, para realizar a análise multifractal da superfície de fratura.

ISSN 1676-0093

Resultados e Discussão

Por meio do ensaio de flexão de 3 pontos, foram obtidos dados, os quais demonstram aspectos das características físicas do material de modo que no gráfico 1 está plotado a força F (em Newtons) até o rompimento de quatro corpos de prova, pela deflexão sofrida pelo material, sendo estas amostras de traços distintos.

Figura 1: Força x deflexão, para diferentes traços analisados.

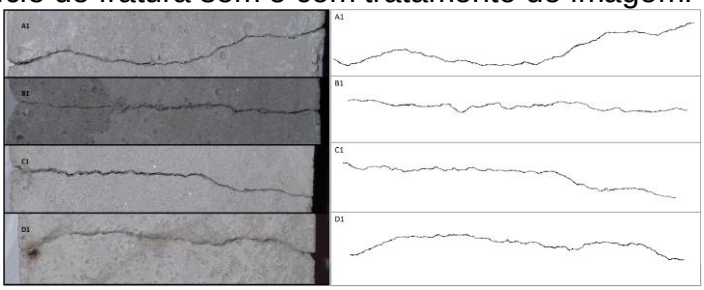


As curvas A, C e D apresentam um comportamento esperado em que a partir de A, de acordo com o traço utilizado, temos um incremento nas propriedades até o traço C, o qual se aproxima de um traço ideal, sendo amplamente usado e por vezes citado na literatura, para posteriormente haver um decaimento destas propriedades com o traço D devido a quantidade alta de areia em sua composição. É perceptível que a curva para o traço B está fora do esperado, isto evidencia algum erro referente ao ensaio ou processo de preparo do corpo de prova. Por meio dos dados obtidos, foi possível também retirar dados como a média da força aplicada para romper os corpos de prova de cada traço, resistência a flexão e módulo de elasticidade de acordo com as curvas representadas na figura 1.

De acordo com a variação no traço, a resposta do material é expressa através de suas propriedades mecânicas, em que com a adição de areia em proporções corretas é possível melhorar tais propriedades como é visto no traço C de 1:3:0,60 em relação a cimento, areia e água respectivamente. Contudo caso se utilize de um traço inadequado como o traço D 1:4:0,75, tem-se um decaimento destas propriedades.

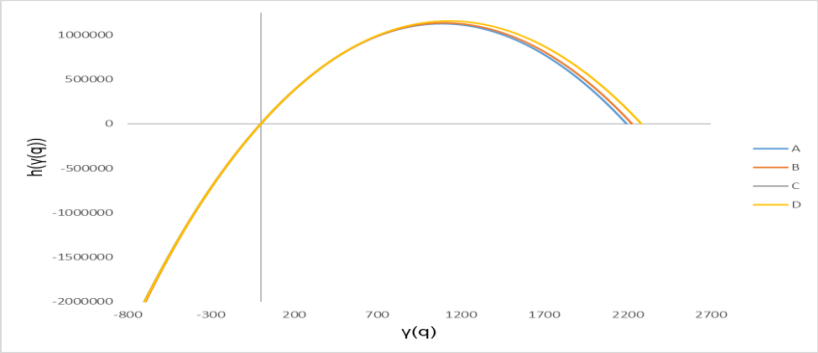
Com os corpos de provas fraturados, foi possível obter as imagens dos perfis de trinca, para então dispor estas em software adequado para obtenção de dados da análise multifractal.

Figura 2: Superfície de fratura sem e com tratamento de imagem.



Com os perfis plotados de acordo com a superfície de fratura é possível obter as curvas referentes a fractais auto-similares e auto-afins, porém a análise que se encaixa para o estudo é a de fractais auto-afins. Desta forma temos na figura 3 a relação entre a dimensão multifractal h(y(q)) em função do expoente local de rugosidade Y(q), utilizando o método de análise.

Figura 3: Análise multifractal h(γ(q)) x γ(q) auto-afim pelo Método Sand-Box.



O gráfico da figura 3 foi feito com dados referentes a uma pesquisa anterior realizada pelo professor Lucas Máximo Alves de modo que é demonstrado acima a relação entre a dimensão multifractal e o expoente de rugosidade. Esta relação proporciona a análise multifractal da trinca de acordo com os traços utilizados. (1)
Os dados referentes a pesquisa atual devido a problemas com o programa subsequente a obtenção de dados dos métodos Sand-Box e Box-Counting serão utilizados em estudos posteriores.

Conclusão/ões

A superfície de fratura do material ocorre de acordo com as condições e características do mesmo, em que a fratura rugosa é uma resposta a aspectos da microestrutura do material. A metodologia de análise fractal possui sua base na matemática, sendo que neste estudo, foi utilizado de softwares que auxiliaram e facilitaram na análise dos dados provenientes dos ensaios dos corpos de prova.
De acordo com a variação do traço utilizado para a produção do corpo de prova, ficou perceptível a variação tanto na resistência do material, quanto ao perfil da trinca gerada após a fratura, de modo que através da análise multifractal, é possível obter dados mais complexos quanto a fratura do material observando os diversos mecanismos responsáveis pela característica da trinca e pela formação da superfície de fratura rugosa.

Agradecimentos

Agradeço a UEPG pela disponibilidade dos locais para realização de ensaio bem como a implementação da bolsa por redistribuição, aos professores que me auxiliaram durante o decorrer da iniciação científica, como o professor Lucas Máximo Alves e a professora Professora Patricia Krüger a qual me ajudou nos laboratórios de engenharia civil da UEPG.

Referências

(1) ALVES, L.M. **Modelagem e simulação do campo contínuo com irregularidades.** 2011. Tese (Pós-Graduação em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
(2) ALVES, L.M. **Construção de um Código em Intel Visual Fortran 90 para Análise da Superfície Rugosa na Interface Rocha-Concreto de Barragens**. 2016. Relatório de trabalho (Pós-doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
(3) GARCIA, Amauri. **Ensaios dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, c2000. 247 p. ISBN 85-216-1221-4