

RELATION BETWEEN SCALE EFFECT AND STRAIN RATE ON TENSION RESISTANCE IN QUASI-BRITTLE MATERIALS

Carla Driely Morsch Santos, Luis Eduardo Kostas

Universidade Federal do Pampa - Unipampa

Departamento de Engenharia Civil, Campus universitário – Alegrete - RS

carla.driely@hotmail.com

Abstract. This paper presents a study about the variation of strain rate influence with the scale effect in quasi-brittle materials. The bibliography shows an increase of dynamic resistance with strain rate. To study this relation, it is utilized a numerical model that combines the Finite Elements Method and the Lattice Discrete Element. This mixed model was implemented on commercial software Abaqus/Explicit. It is used expanded polystyrene for making three models of specimens with dimensional variations and different strain rates applied. The result shows that with the increase of applied strain rates, the resistances also increase and the body dimension influences this behavior.

It is also propose a way to make independent the relationship between the dynamic intensification and the stain rate of scale effect.

Palavras-chave: Taxa de deformação, Método dos elementos discretos, Efeito de escala

1. INTRODUÇÃO

Algumas estruturas de concreto de aplicação especial como abrigos de proteção, contenção do reator nuclear, placas de proteção contra explosões e colisões e muitos outros podem ser solicitados a uma carga de alta taxa de tensão.

O comportamento devido a carregamentos ou deslocamentos dinâmicos tem sido amplamente estudado. Riera *et al.* [1] comenta que em caso de colisão, explosão e outras cargas de curta duração, tem sido desde há muito reconhecido que a resistência a tração dos materiais de engenharia tende a aumentar com a taxa de carregamento (ou tensão). Os dados disponíveis na literatura apresentam estudos para materiais não homogêneos como o concreto e rocha os quais apresentam uma dependência da taxa de deformação.

A “Fig. 1” mostra o efeito da taxa de deformação sobre tensões de tração no concreto apresentada por Malvar *et al.* [2]. Os dados mostram que o fator de amplificação dinâmica (do inglês DIF) é uma função bilinear da taxa de deformação (em um gráfico log-log), sem aumentos de taxas de deformação abaixo $10E-6 s^{-1}$, e com uma alteração no declive a uma velocidade de deformação de $1 s^{-1}$.

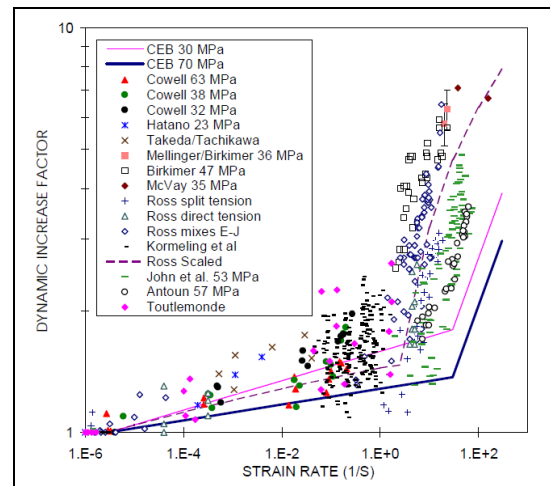


Figura 1 - Efeito da taxa de deformação sobre tensões de tração no concreto (MALVAR *et al.* [2])

Outro aspecto que deve ser levado em conta na prática da engenharia é que os ensaios realizados utilizam modelos em tamanhos extremamente reduzidos se comparados aos modelos reais. Estes ensaios são extremamente essenciais para avaliar o comportamento de estruturas ou dos materiais de que estas estão compostas. Sendo assim é necessário avaliar o efeito de escala para poder levar os resultados experimentais para a escala da estrutura real.

2. METODOLOGIA

2.1 Método dos elementos discretos formados por barras

Os estudos realizados por Nayfeh e Hefzy [3] foram utilizados por Riera [4] para desenvolver um método discreto, com finalidade de resolver problemas de mecânica dos sólidos.

O Método dos Elementos Discretos formado por barras (do inglês LDEM) consiste em representar o contínuo por intermédio de um arranjo espacial de barras com as massas concentradas em suas pontas.

O módulo cúbico básico é composto por 20 elementos de barra e nove nós interconectados como se mostra na mostrada na “Fig. 2a”. Cada nó possui três graus de liberdade correspondentes aos três componentes do vetor deslocamento num sistema de referência global. Como apresentado na “Fig. 2b” a discretização do corpo se obtém por superposição do módulo cúbico básico.

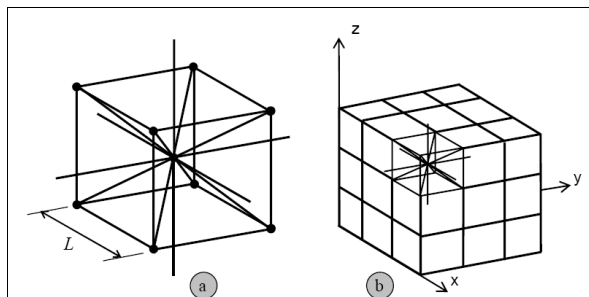


Figura 2 - a) módulo cúbico básico e b) geração do corpo prismático.

Lei bilinear. O uso do LDEM foi estendido para representar materiais frágeis introduzindo uma relação constitutiva elementar (RCE) bilinear como mostrada na “Fig. 3” baseada na lei bilinear proposta por Hillerborg [5]. Esta lei leva em conta a fratura frágil e também permite capturar os efeitos irreversíveis da nucleação e propagação das fissuras, portanto, tem em conta a redução na capacidade de carregamento do elemento.

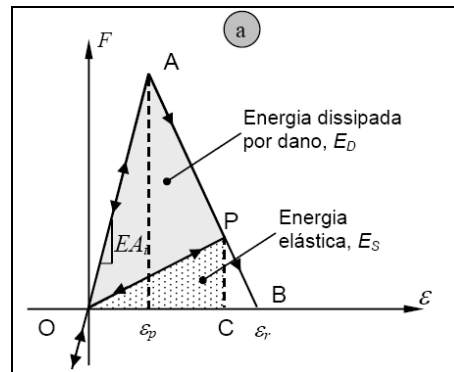


Figura 3 - Relação constitutiva elementar utilizada no LDEM baseada no Modelo de Hillerborg.

DEM no ambiente Abaqus/Explicit. Para ganhar flexibilidade na simulação de problemas com geometrias e condições de contorno mais complexas, criar modelos mistos DEM e o Método dos elementos finitos (MEF) pode ser uma solução vantajosa. O software comercial *Abaqus* permite fazer a o uso conjunto dos dois métodos, podendo as características do LDEM ser implementadas no ambiente *Abaqus* (KOSTESKI [6]).

Mais detalhes sobre o LDEM, a lei constitutiva e a forma de introduzir esse método no ambiente *Abaqus* podem ser encontrados em [6].

2.2 Caracterização do modelo

O material escolhido nos estudos deste trabalho é o poliestireno expandido devido ao seu comportamento frágil. Esse material possui baixo custo de aquisição e baixa rigidez se for comparado com materiais convencionais, como o concreto ou rocha.

Foram simulados três tamanhos de corpos de prova diferentes submetidos a tração, mostrados na “Fig. 4”, utilizado as propriedades do material e a geometria definidas por Colpo [7], de forma de contar com dados experimentais para ajustar o modelo. O modelo foi feito utilizando o MEF em suas extremidades e o DEM em sua parte central, isto foi possível pois a ruptura é esperada na parte central a qual sofre uma diminuição da seção transversal. Para cada

tamanho de corpo de prova foram realizadas 4 repetições das simulações para validação do modelo.

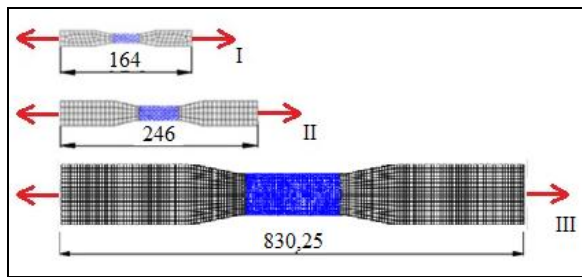


Figura 4 - Modelos dos corpos de prova no LDEM-Abaqus, fora de escala

As propriedades do poliestireno expandido são apresentadas na “

Tabela 1”, assim como alguns parâmetros relevantes das simulações. A “Fig. 4” mostra os modelos realizados no LDEM *Abaqus*.

Tabela 1 – Dados das simulações

Propriedades	Poliestireno expandido
E [MPa]	4,35*
ρ [Kg/m ³]	11,90*
G_f [N/m]	133,40*
CVG_f [%]	40,00
L_{corr} [m]	1,80E-3
ν	0,25
R_f [m ^{1/2}]	3,87
L [m]	5,50E-3
Dt [s]	1,95E-6

* [7]

Como demonstrado em [8], utilizando o mesmo comprimento de correlação (L_{corr} na Tabela 1) nas simulações de modelos submetidos a tração, o LDEM é objetivo.

O CPI tem 828 graus de liberdade o CPII 1599 e o CPIII 16965. Se este modelos fossem feitos inteiramente com LDEM seriam 60% maiores.

3. RESULTADOS

Na “Fig. 5” se mostra a comparação das curvas tensão deformação obtida

experimentalmente por [7] e os resultados da simulação numérica para um carregamento quase-estático para um CP.

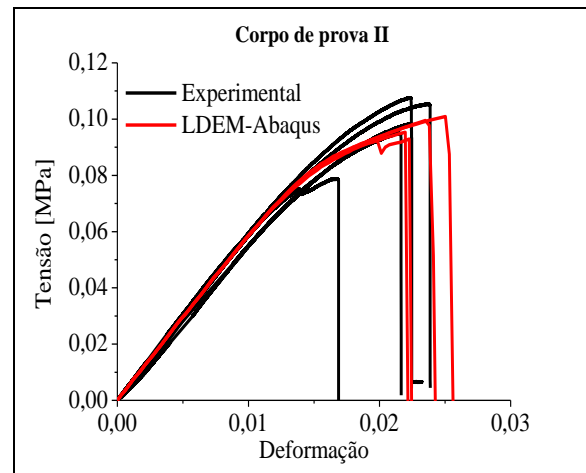


Figura 5 – Curva tensão *versus* deformação

Fator de intensificação dinâmica (DIF) é obtido pela razão entre a força resistente máxima em condições dinâmicas de ensaio (diferentes taxas de deformações aplicadas) e a força resistente máxima em condição de ensaio estático de cada tamanho de corpo de prova (“Fig. 5”). Colocando a taxa de deformação em função do DIF é possível observar de maneira clara a influência da taxa de deformação para cada tamanho diferente de corpo de prova, esta relação está apresentada na “Fig. 6”.

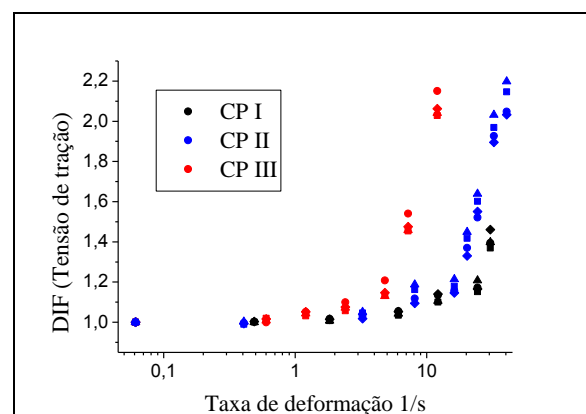


Figura 6 - Efeito da taxa de deformação sobre a resistência a tração

E possível ajustar as curvas da “Fig. 6” em função da escala dos CPs. Os fatores de escala para os CPs II e III em relação ao CP I são 1,5 e 5,06 respectivamente.

Multiplicando estes fatores pela taxa de deformação dos CPs correspondentes obtém-se uma curva única mostrada na “Fig. 7”.

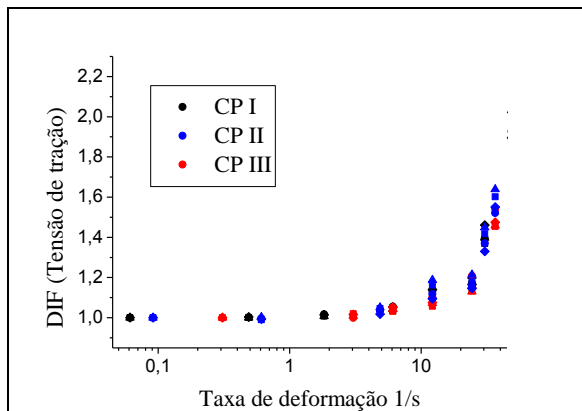


Figura 7 - Ajuste das curvas da taxa de deformação sobre a resistência a tração

O aumento da resistência à tração na medida em que a taxa de deformação aumenta, está de acordo com dados encontrados na literatura (“Fig 1”, [2]), sendo que o poliestireno expandido tem comportamento quase-frágil à tração assim como o concreto. É interessante notar como o efeito de escala na taxa de deformação pode ser suprimido com a relação da escala do tamanho das amostras.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostra a dependência da taxa de deformação na resistência à tração do material. Podendo concluir que, o aumento da resistência à tração foi observado sem quaisquer alterações das equações constitutivas ou parâmetro do material com a mudança da taxa de deformações aplicada ao modelo. A geometria do corpo de prova tem influência no DIF, sendo que este pode ser ajustado em função da variação da escala de um CP para outro, evidenciando a existência de um efeito de escala associado à dependência da taxa de deformação.

Em trabalhos futuros será realizada a simulação com corpos de prova de concreto para poder comparar as curvas obtidas com os resultados da bibliografia [2].

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da FAPERGS que fez e faz possível a realização de nossas pesquisas assim como a nossa melhora contínua profissional.

REFERÊNCIAS

- [1] RIERA, J.D.; MIGUEL, L.F.F.; ITURRIOZ, I., Strength of Brittle Materials under High Strain Rates in DEM Simulations. CMES, vol.82, no.2, 2011, pp.113-136.
- [2] MALVAR L. J.; CRAWFORD J. E., Dynamic increase factors for concrete. Twenty-Eighth DDESB Seminar, Orlando, 1998.
- [3] NAYFEH, A.H.; HEFZY, M.S. Continuum modeling of three-dimensional truss-like space structures. AIAA Journal, v. 16(8), 1978, p. 779-787.
- [4] RIERA, J.D. Local effects in impact problems on concrete structures. In: Proceedings, conference on structural analysis and design of nuclear power plants, Porto Alegre, RS, Brazil, CDU 264.04:621.311.2:621.039. 1985.
- [5] HILLERBORG, A. A model for fracture analysis. Cod LUTVDG/TV BM-3005, 1978, p.1-8.
- [6] KOSTESKI, L.E. **Aplicação do Método dos Elementos Discretos formado por barras no estudo do colapso de estruturas.** Tese (Doutorado) - PROMEC, UFRGS, Porto Alegre, 2012.
- [7] COLPO, A.B. **Análise numérica e experimental do efeito de escala em materiais quase frágeis.** Dissertação (Mestrado) - PPEng, UNIPAMPA, Alegrete, 2016.
- [8] PUGLIA, A.B. **Estudo da ruptura em materiais heterogêneos quase frágeis aplicando o Método dos Elementos Discretos formado por barras juntamente com a técnica de emissão acústica.** Tese (Doutorado) - PROMEC, UFRGS, Porto Alegre, 2013.