

# ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE BETÕES POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM VARÕES DE MATERIAIS COMPÓSITOS, SUJEITOS A FLUÊNCIA EM FLEXÃO

C. M. L. Tavares<sup>1</sup>, R. J. C. M. Guedes<sup>2</sup>, A. J. M. Ferreira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bolseira de Investigação, <sup>2</sup>Professor Auxiliar

<sup>1</sup>Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Rua do Barroco, 174-214, 4465-591 Leça do Balio

<sup>2</sup>Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, S/N, 4200 Porto

## RESUMO

*Neste trabalho estudou-se o comportamento a longo prazo, i.e. fluência, de betões poliméricos reforçados com varões de material compósito, solicitados em flexão (4PB). O trabalho experimental consistiu no ensaio dum conjunto de vigas para vários níveis de carga. Devido à natureza dos polímeros, os betões poliméricos exibem um comportamento viscoelástico. Como consequência sofrem o fenómeno da fluência a baixas temperaturas. Desta forma o estudo aqui apresentado é fundamental para caracterizar o comportamento a longo prazo destes materiais, permitindo a sua utilização com um maior grau de segurança.*

## 1 INTRODUÇÃO

O betão polimérico é um material compósito onde uma resina termoendurecível liga inertes naturais, tais como a areia de sílica, entre outros. Os catalizadores e aceleradores são adicionados à resina antes da sua mistura com os inertes inorgânicos para iniciar a reacção de cura (polimerização).

As vantagens dos betões de resina, comparativamente aos betões de cimento, são a alta resistência, elevada duração, permeabilidade muito baixa e tempos de cura rápidos (da ordem dos minutos ou poucas horas).

As aplicações de betões poliméricos estão em crescimento, nomeadamente na pré-fabricação, sendo hoje comuns em drenos para águas, caixas, tubagens ou postos de transmissão, bem como painéis de fachadas (Dikeou, 1986).

O betão polimérico, devido à característica polimérica da sua matriz, exhibe um comportamento dependente do tempo. Este comportamento pode ser estudado através de três tipos de ensaios:

- Ensaio de fluência (incluindo recuperação após a fluência)
- Ensaio de relaxação de tensões

- Ensaios a velocidade de deformação ou de carregamento constante.

Nos ensaios de fluência a tensão é imposta num nível constante resultando, no caso dos materiais viscoelásticos, num aumento progressivo da deformação a partir da deformação instantânea (elástica). A propriedade medida nestes ensaios designa-se por flexibilidade de fluência e vem dada pela razão entre a deformação em função do tempo e a tensão aplicada. Por oposição, nos ensaios de relaxação a deformação é imposta resultando, nos mesmos materiais, num decréscimo progressivo da tensão instalada. A propriedade medida nestes ensaios designa-se por módulo de relaxação e vem dada pela razão entre a tensão em função do tempo e a deformação imposta (Guedes, 2001).

Neste trabalho fez-se um estudo experimental do comportamento à fluência de vigas de betão polimérico reforçado com varões compósitos, em flexão pura.

## 2 MATERIAIS

A formulação do betão polimérico utilizado possui 80% de areia de fundição e 20% de resina Eposil 551 ( % mássicas). Esta composição otimizada corresponde à formulação que resultou de estudos anteriores (Ferreira et al, 2000 a,b,c).

A designação de areia de fundição refere-se a uma areia siliciosa, designada por SP 55, utilizada na indústria da fundição, de granulometria bastante uniforme e com diâmetro médio de 245  $\mu\text{m}$ . Na tabela 1 são apresentadas as análises granulométrica e química desta areia.

A resina Eposil 551 permite aglomerar a areia de fundição, proporcionando aglomerados com elevada rigidez e coesão. Esta resina é constituída por uma resina epoxídica, designada por 551, e pelo endurecedor 551.

As propriedades mecânicas do betão polimérico utilizado, são apresentadas na tabela 2.

Tabela 1- Análise granulométrica e química da areia utilizada

Análise		Análise Química	
Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	%	Composto	%
850	0	SiO <sub>2</sub>	99.30
600	0	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.100
425	2	TiO <sub>2</sub>	0.080
300	12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.300
212	60	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	0.090
150	24	CaO+MgO	0.013
106	2	L.O.I (P.R.)	0.12
75	0	A.D.V. pH <sub>3</sub>	0.6

Tabela 2- Propriedades do betão utilizado

Propriedade	Valor
Resistência à flexão	38.7MPa
Resistência à compressão	82 MPa
Módulo de elasticidade à compressão	11.5 GPa

Os varões de pultrusão usados no reforço foram fabricados na máquina de pultrusão do INEGI, em colaboração com a empresa ALTO – Perfis Pultrudidos, L.da. Tratam-se de varões de resina poliéster reforçada com fibra de vidro. Na tabela 3 são apresentadas as principais características destes varões

Tabela 3- Propriedades dos varões utilizados

Propriedade	Valor
Resistência à tracção	1 GPa
Resistência à flexão	1 GPa
Resistência à compressão	450 MPa
Módulo de elasticidade à tracção	40 GPa
Módulo de elasticidade à flexão	45 GPa
Módulo de elasticidade à compressão	30 GPa

### Preparação das vigas

Foram realizadas vigas com as dimensões 600x30x50mm com reforçadas com varão de pultrusão de diâmetro de 4mm. A figura 1 mostra uma viga de betão polimérico reforçada.

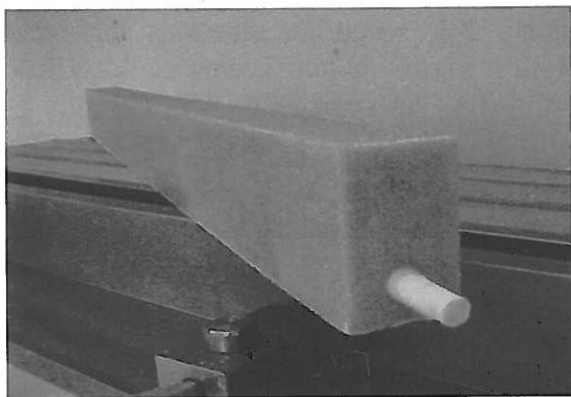


Fig 1 - Aspecto final de uma viga de betão polimérico reforçado com GRFP

Para preparação das vigas de betão polimérico utilizadas neste estudo, uma mistura de resina Eposil 551/endurecedor 551 na proporção 2:1, foi adicionada à areia previamente seca. Seguidamente procedeu-se à mistura em batedeira durante 2 minutos. Finalmente, a mistura foi colocada nos moldes prismáticos. Antes da utilização dos varões, estes foram lixados com lixa n.º 220, de forma a promover à adesão ao betão.

Após 24 horas as vigas foram desmoldadas e sujeitas a tratamento térmico à 60° C durante 7 horas. Na figura 2 é apresentado o molde utilizado para elaboração destas vigas .

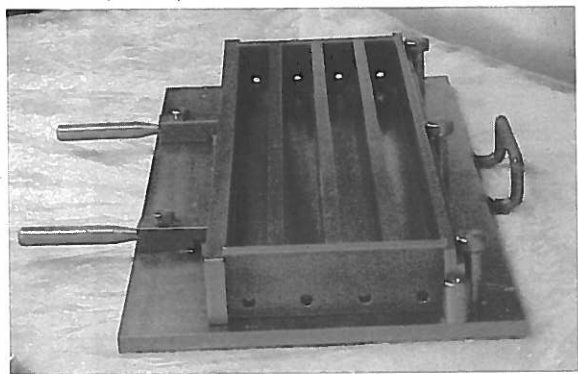


Fig 2 - Molde para vigas de betão polimérico

Os provetes utilizados neste trabalho, com as dimensões 296x30x50mm, foram obtidos por corte central de vigas.

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

#### 3.1 Equipamento de ensaios

Foi concebido, em colaboração com o LOME – Laboratório de Óptica e Métodos Experimentais do INEGI, um equipamento

para a realização dos ensaios de fluência em flexão, que permite controlar facilmente, e com a precisão pretendida, o valor da solicitação imposta ao elemento de betão e o valor da sua deformação ao longo do tempo. Este equipamento tem a vantagem de permitir o ensaio simultâneo de duas vigas, o que possibilita uma franca redução do tempo necessário à realização do estudo em questão.

Na figura 3 apresenta-se a fotografia do equipamento projectado, simulando o modo como vai ocorrer o carregamento das duas vigas.

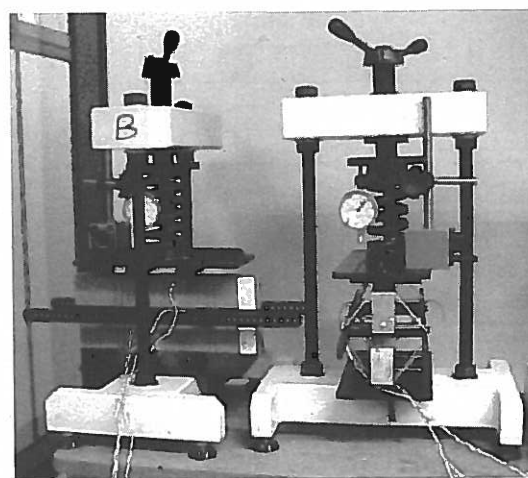


Fig 3 – Equipamento para os ensaios de fluência em flexão – Sistema de carregamento simultâneo de duas vigas

#### 3.2 Ensaio estáticos

Os ensaios estáticos tiveram a finalidade de escolher a configuração adequada para o ensaio, bem como determinar a tensão máxima resistente.

A configuração deve garantir que a rotura da viga ocorre por flexão pura e não por efeito corte, além disso deve permitir a realização de ensaios com níveis de carga que variam entre 15% e 45% da tensão de rotura (dentro da zona linear da mola).

Para este efeito realizaram-se, em primeiro lugar, ensaios de flexão em 3 pontos, com vão de 540 mm e a velocidade de 1mm/min, de forma a estimar a tensão máxima. Com este valor de tensão escolheu-se uma configuração que permitisse carregamentos entre 15% e 45% da tensão de rotura. Este procedimento permitiu reduzir o número de

ensaios para a determinação da configuração a utilizar e a respectiva tensão resistente máxima.

Finalmente realizaram-se ensaios, à velocidade de 1 mm/min, para determinar o valor da tensão de rotura para o configuração escolhido. Estes ensaios também permitiram verificar que a rotura se dá por flexão, a meio vão da viga, e não por corte.

A configuração escolhido para os ensaios de fluência (figura 6), tem espaçamento entre apoios de 160 mm e braço de 40 mm.

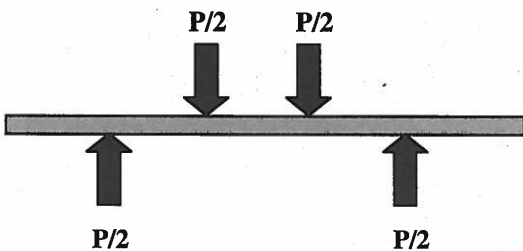
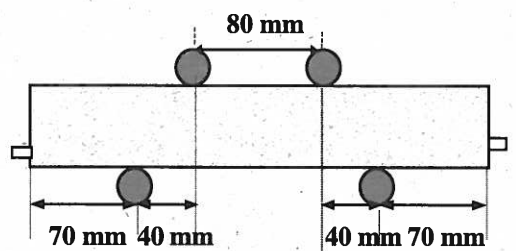


Fig 4 – Representação esquemática do configuração utilizado nos ensaios de fluência.

### 3.3 Instrumentação de vigas

No ensaio de flexão em 4 pontos a meio vão da viga, entre os 2 pontos interiores de aplicação das cargas, tem-se uma zona de flexão pura onde só existem tensões tractivas (na face oposta à solicitação) e onde só existem tensões compressivas (na face onde é imposta a solicitação). Por este motivo as vigas foram instrumentadas na zona central das faces inferiores e superiores de forma a que o eixo do extensómetro coincida com a direcção principal da deformação.

### 3.4 Ensaios de fluência

Para a realização dos ensaios, foi utilizado o equipamento de fluência desenvolvido no

ponto 2.3, sendo as extensões registadas com o auxílio de um sistema de aquisição de dados “SPIDER 8-30” HBM (figura 5) equipado com o Software Catman 3.1.

Os ensaios de fluência foram realizados em flexão em 4 pontos (figura 6), aplicando 3 níveis de carga: 15%, 30% e 45% da tensão máxima.

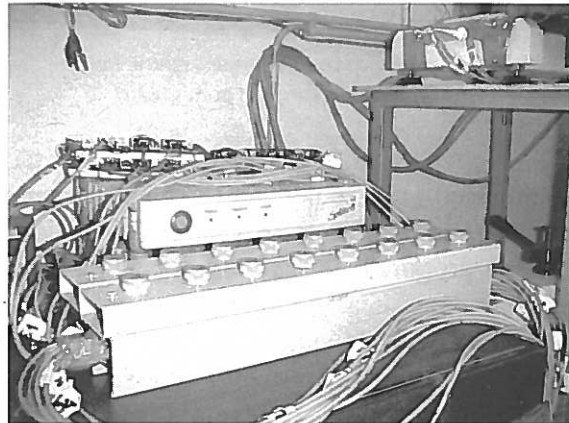


Fig 5 – Sistema de aquisição de dados “SPIDER 8-30”.

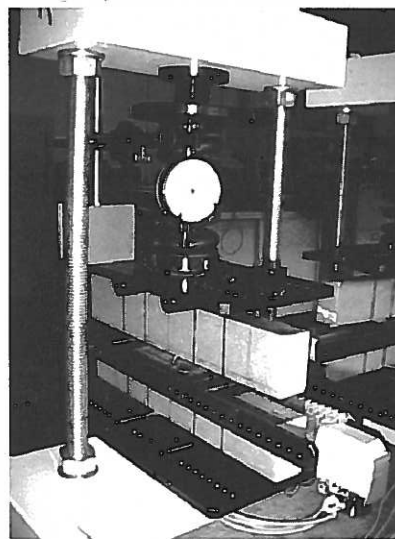


Fig 6 - Ensaio de fluência

## 4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As figuras 7 e 8 mostram, respectivamente, os gráficos carga em função do deslocamento obtidos nos ensaios estáticos de flexão em três e quatro pontos.

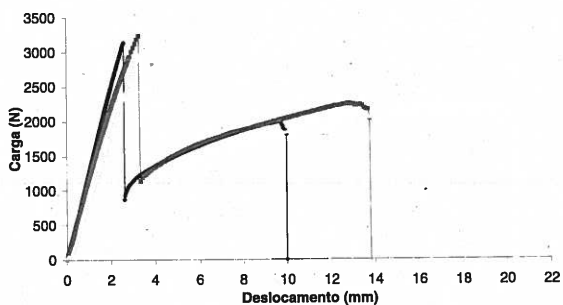


Fig 7 – Gráfico Carga vs. Deslocamento obtido nos ensaios estático de flexão em três pontos

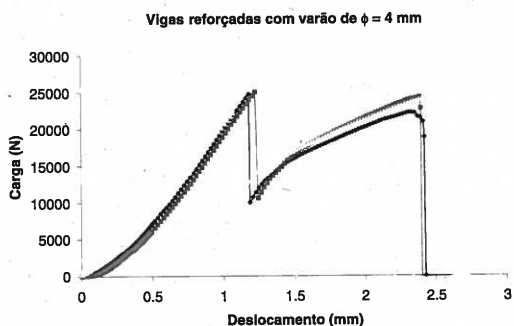


Fig 8 – Gráfico Carga vs. Deslocamento obtido nos ensaios estático de flexão em quatro pontos

Na tabela 4 são apresentados os valores médios de carga máxima e tensão máxima obtida nos ensaios de flexão em três e quatro pontos.

Tabela 4 – Valores médios de carga e tensão máxima obtidos nos ensaios estáticos

Ensaio	P máx. (N)	$\sigma_{max}$ (MPa)
3 pontos	3149	32.62
4 pontos	24982	38.34

Nas figuras 9 a 12, são apresentados os resultados experimentais dos ensaios de fluência.

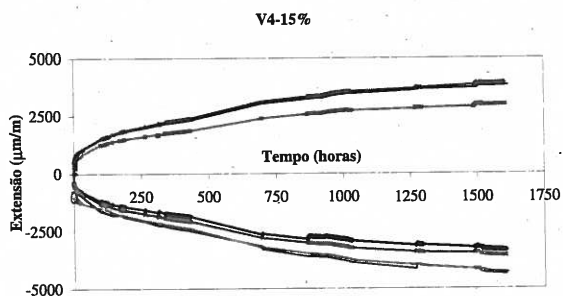


Fig 9 – Curvas de Fluência para carregamento de 15 %

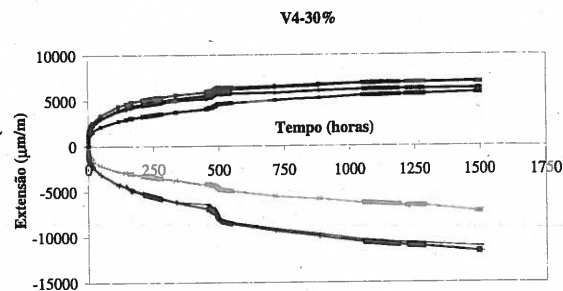


Fig 10 – Curvas de Fluência para carregamento de 30 %

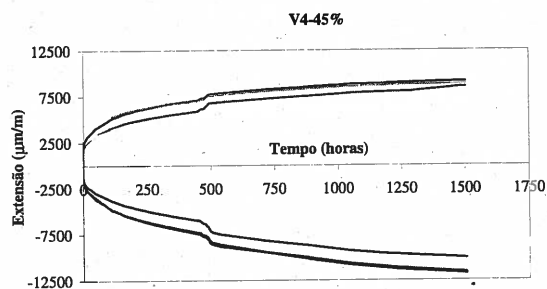


Fig 11 – Curvas de Fluência para carregamento de 45 %

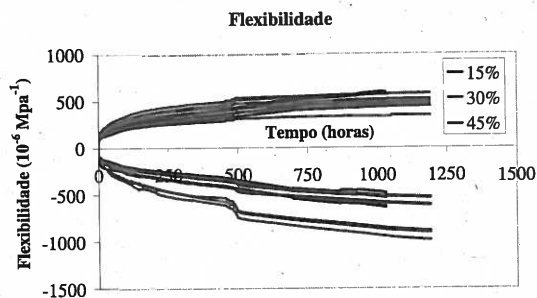


Fig 12 – Curvas de Flexibilidade para carregamentos de 15 %, 30% e 45%

## 5 ANÁLISE DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

Da análise dos resultados dos ensaios estáticos verifica-se que a rigidez à flexão das diferentes vigas ensaiadas é semelhante, uma vez que na zona precedente à primeira fissuração, as curvas são coincidentes, assim como a carga máxima. Porém os valores da carga de abertura da 1ª fenda apresentam algumas diferenças.

Nos ensaios de fluência, para cada nível de carga (figuras 9, 10 e 11), verifica-se que existem diferenças nos valores obtidos para cada viga. O erro cometido na aplicação da carga e a variabilidade das propriedades de

cada viga são factores que contribuem para esta variabilidade dos resultados.

Comparando as curvas de Flexibilidade para os 3 níveis de carregamento (figura 12), observa-se que existem discrepâncias para os valores da flexibilidade, nomeadamente nas extensões medidas na zona de compressão.

O sistema de carregamento das máquinas de fluência utilizadas neste trabalho não permite um posicionamento exacto dos roletes, o que pode causar com que a tensão calculada, não corresponda à tensão imposta. Este factor contribui para uma dispersão nos valores de fluência e nos valores de flexibilidade.

Este trabalho apresenta uma contribuição para o conhecimento do comportamento à longo prazo de uma nova família de materiais de matriz polimérica, nos quais a fluência representa um factor importante no projecto de estruturas.

Foram desenvolvidas novas misturas poliméricas, reforços à base de perfis pultrudidos e novos equipamentos para ensaios de fluência em flexão.

O estudo da evolução da deformação, ao longo de tempo, é um passo necessário para caracterizar os betões poliméricos, permitindo aumentar as suas aplicações com um maior grau de segurança.

## 6 AGRADECIMENTOS

Agradece-se o apoio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do projecto 35955/1999, Propriedades a longo prazo de betões poliméricos. Agradece-se ainda a colaboração do Prof. Mário Vaz da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e do LOME – INEGI, na concepção do equipamento de ensaios em fluência.

## 7 REFERÊNCIAS

- J. Dikeou, Precast polymer concrete in the United States, Proceedings of the Fifth International Congress of Polymers in Concrete, Brighton, England, 1987, pp. 251-256
- R. M. Guedes, Comportamento a longo prazo de materiais poliméricos e de materiais compósitos de matriz polimérica, Apontamentos da disciplina de Materiais Compósitos do curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, FEUP, Porto, 2001.
- A.J.M. Ferreira, C.M. Tavares, M.C. Ribeiro "Flexural properties of polyester resin concretes", Journal of Polymer Engineering, Freund Publishing House. V.20, nº6, 2000. (a)
- A.J.M. Ferreira, C.M. Tavares, M.C. Ribeiro, M. Figueiredo, A. A. Fernandes, "Influence of Material Parameters in the Mechanical Behaviour of Polymer Concrete", 'Mechanical and Materials in Design', Orlando, USA, May, 2000. (b)
- António J. M. Ferreira, Cassilda Tavares, Cristina Ribeiro, André Vieira, Caracterização mecânica em flexão de betões de resina, Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, n.º 48, 2000.(b)