



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE MATERIAIS
Núcleo de Materiais Orgânicos

Proc. 0203/75/11239

CARACTERIZAÇÃO EM TRACÇÃO DE MATERIAIS DE NATUREZA POLIMÉRICA

**Capacidades instaladas no Núcleo de Materiais Orgânicos
do Departamento de Materiais**

Lisboa • Fevereiro de 2009

OAC&T MATERIAIS

RELATÓRIO 25/2009 – DM

**Caracterização em tracção de materiais de natureza
polimérica**

**Capacidades instaladas no
Núcleo de Materiais Orgânicos do
Departamento de Materiais**

Tensile properties of polymeric materials

**Procedures installed on
Organic Materials Division
Materials Department**

**Caractérisation en traction dès matières de nature
polymérique**

**Capacités des installations du Nucléo des
Nucléo de Matières Organique du
Département de Matières**

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Enquadramento.....	1
1.2.	Objectivos.....	1
2.	DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES EM TRACÇÃO.....	2
2.1.	Princípio do ensaio.....	2
2.2.	Algumas definições.....	2
2.3.	Método experimental.....	4
2.3.1.	Preparação dos provetes.....	4
2.3.2.	Equipamento de ensaio.....	5
2.3.2.1.	Máquina universal de ensaios mecânicos.....	5
2.3.2.2.	Garras e mordentes.....	6
2.3.2.3.	Células de carga.....	7
2.3.2.4.	Extensómetros.....	8
2.3.3.	Condições de ensaio.....	9
2.3.3.1.	Condicionamento.....	9
2.3.3.2.	Velocidade.....	9
2.3.3.3.	Número de provetes.....	10
2.3.4.	Apresentação dos resultados.....	10
3.	EXEMPLOS DE DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES EM TRACÇÃO.....	10
3.1.	Material termoplástico.....	10
3.2.	Material termoendurecível.....	12
3.3.	Material compósitos de matriz polimérica.....	13
3.4.	Película de tinta.....	14
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	16

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1:	Características das máquinas de tracção existentes no NMO.....	6
Quadro 2:	Gama e resolução das células de carga de tracção existentes no NMO.....	7
Quadro 3:	Resultados de um ensaio de tracção de um material termoplástico que apresenta cedência.....	11
Quadro 4:	Resultados de um ensaio de tracção de um material termoendurecível.....	12
Quadro 5:	Resultados de um ensaio de tracção de um material termoendurecível reforçado com fibras.....	13
Quadro 6:	Resultados de um ensaio de tracção de uma película de tinta.....	15

ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1: Curvas experimentais típicas de materiais poliméricos.....	3
Figura 2: Tupia de contorno.....	4
Figura 3: Máquinas de tracção existentes no NMO	5
Figura 4: Tipos de garras existentes no NMO	6
Figura 5: Tipos de mordentes existentes no NMO.....	7
Figura 6: Tipos de extensómetros existentes no NMO.....	8
Figura 7: Ilustração de um material termoplástico no início e no fim do ensaio	11
Figura 8: Curvas experimentais de um ensaio de tracção de um material termoplástico que apresenta cedência.....	11
Figura 9: Ilustração do material termoendurecível	12
Figura 10: Curvas experimentais de um ensaio de tracção de um material termoendurecível.....	12
Figura 11: Ilustração de uma Fibra de carbono.....	13
Figura 12: Curvas experimentais de um ensaio de tracção de um material termoendurecível reforçado com fibras	14
Figura 13: Ilustração de uma película de tinta	14
Figura 14: Curvas experimentais de um ensaio de tracção de uma película de tinta.....	15

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

O conhecimento das propriedades mecânicas dos materiais de natureza polimérica (designadamente de natureza termoplástica ou termoendurecível – eventualmente reforçados na forma de compósitos de matriz polimérica) é essencial em praticamente todas as aplicações destes materiais na Engenharia Civil, quer na etapa de projecto e concepção, quer no apoio à definição de especificações ^[1, 2, 3].

Para avaliar estas propriedades são usados ensaios mecânicos, que podem ser estáticos ou dinâmicos, e que podem envolver a aplicação de diferentes tipos de esforços, designadamente, tracção, flexão, compressão, corte e torção. A selecção do ensaio a efectuar é determinada pela natureza do material ou produto e do tipo de solicitação a que este estará sujeito, ou das especificações a que esteja obrigado, na aplicação em causa.

1.2. Objectivos

O presente relatório tem como finalidade descrever as capacidades de caracterização mecânica em tracção¹ de materiais de natureza polimérica actualmente existentes no Núcleo de Materiais Orgânicos (NMO) do Departamento de Materiais (DM) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC, I.P).

Para além da enumeração dos princípios do método de ensaio, assim como dos conceitos a ele subjacentes, e da descrição dos equipamentos disponíveis, procurou-se compilar neste documento pormenores experimentais considerados relevantes e que resultam da prática do funcionamento com estes equipamentos, métodos e materiais específicos.

¹ Encontra-se previsto a elaboração de documentos semelhantes, centrados na problemática dos outros tipos de ensaios mecânicos, designadamente de flexão e compressão.

Por último, apresentam-se exemplos de resultados da determinação das propriedades em tracção de materiais de natureza polimérica pertencentes a diferentes famílias.

2. DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES EM TRACÇÃO

2.1. Princípio do ensaio

O ensaio consiste na solicitação de um provete de geometria adequada, a uma força de tracção ao longo do seu eixo longitudinal, a uma velocidade constante, sendo monitorizada a deformação que sofre, medida entre dois traços de referência, assim como a força respectiva. O ensaio de tracção de materiais poliméricos encontra-se descrito em diversas normas de ensaio, de onde se destacam as diferentes partes da norma internacional ISO 527 ^[4] e as normas americanas ASTM D 638 ^[5] e ASTM D 3039 ^[6].

Estas normas de ensaio aplicam-se aos seguintes materiais:

- Termoplásticos rígidos e semi-rígidos produzidos por moldação ou extrusão, com ou sem cargas, não reforçados ou reforçados.
- Termoendurecíveis rígidos ou semi-rígidos, com ou sem cargas, não reforçados ou reforçados.

2.2. Algumas definições

Num ensaio de tracção é possível medir a resistência do material quando um provete de secção recta, A , é submetido à aplicação de uma força, F , podendo definir-se:

- **Tensão em tracção** ¹ (σ) - como a força (F) por unidade de área (A) da secção original do provete, dentro da base de medida, expresso em MPa, pela equação:

$$\sigma = F/A$$

em que : F = Força (kN)

A = área (mm²)

¹ Denominação na língua inglesa “tensile stress”.

• **Extensão² ϵ** - é o incremento em comprimento por unidade da base de medida inicial do provete. É expressa em percentagem do valor da base de medida ou é adimensional e dada pela equação:

$$\epsilon = \Delta l/l_0 = (l_f - l_0)/l_0$$

Em que l_0 é o comprimento da base de medida inicial e l_f o final.

• **Módulo de elasticidade³ (E)** - é usado como uma medida da rigidez do material e é dado pela razão entre uma diferença de tensões sobre uma diferença de deformações, na região inicial da curva experimental. É expresso em MPa.

Nos materiais termoplásticos é possível encontrar diferentes tipos de curvas experimentais que reflectem comportamentos à tracção específicos como é ilustrado na figura 1 (figura 1 da norma ISO 527-1):

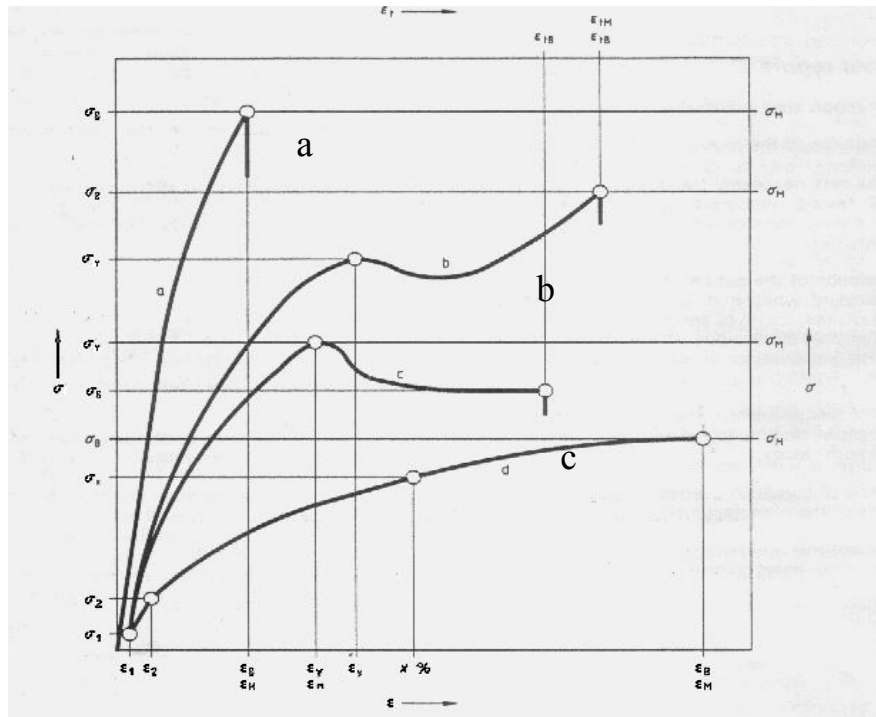


Figura 1: Curvas tensão/extensão experimentais típicas de materiais poliméricos
(Figura 1 da norma ISO 527-1)

- Curva a – material frágil
- Curva b – material com cedência
- Curva c – material sem cedência

² Denominação na língua inglesa “tensile strain”.

³ Denominação na língua inglesa “modulus of elasticity”.

Destas curvas podem retirar-se diversas características em tracção, designadamente:

- **Resistência à tracção (σ_M)** - tensão de tracção máxima suportada pelo provete durante o ensaio.
- **Tensão de tracção na cedência (σ_Y)** - ponto em que um aumento de extensão ocorre sem haver aumento de tensão.
- **Tensão de tracção na rotura (σ_B)** - ponto em que o provete sofre rotura (que pode não coincidir com o ponto de tensão máxima).

A estas tensões correspondem as respectivas extensões:

- **Extensão em tracção na rotura (ϵ_B)**.
- **Extensão em tracção na cedência (ϵ_Y)**.

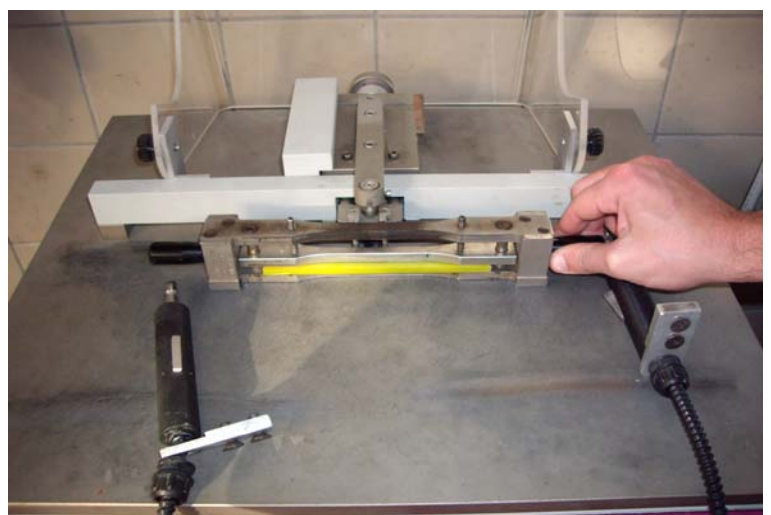
2.3. Método experimental

2.3.1. Preparação dos provetes

De uma forma geral, os provetes de tracção apresentam uma forma de paralelepípedo de secção rectangular ou de haltere com uma zona central de secção transversal constante. Estes podem ser preparados por moldação directa na geometria pretendida, ou por corte utilizando uma serra e uma tupa de contorno de provetes, como a ilustrada na Figura 2.



a)



b)

Figura 2: a) Tupa de contorno para fabrico de provetes em forma de haltere

b) pormenor do cortante usado para maquinação

A preparação dos provetes pode ter uma enorme influência nos resultados. Em materiais termoendurecíveis essa influência não é tão notória pois os alongamentos na rotura são pequenos, e o mais importante para este tipo de materiais são a tensão (σ) e alongamento na rotura (ϵ) assim como o módulo de elasticidade (E).

Em materiais termoplásticos com alongamentos na rotura elevados, pequenas fissuras por vezes não identificáveis a “olho nu” podem determinar roturas prematuras. Nestes casos após a execução do ensaio deve-se avaliar os valores, a forma da curva experimental e os provetes. Nesta situação, para uma melhor caracterização da amostra por vezes é necessário repetir o ensaio com um maior número de provetes, aumentando a dimensão da população, para poder efectuar uma análise estatística dos resultados.

De uma forma geral, o número de provetes a preparar deve ser superior ao referido na norma de ensaio de forma a prever-se a eventual ocorrência de anomalias durante o ensaio que obriguem a rejeitar um ou mais provetes. No caso de existir anisotropia do material, é necessário efectuar o ensaio de tracção sobre provetes retirados em, pelo menos, duas direcções ortogonais.

2.3.2. Equipamento de ensaio

2.3.2.1. Máquina universal de ensaios mecânicos

O NMO tem duas máquinas universais de ensaios mecânicos, onde podem ser efectuados os ensaios de determinação das propriedades em tracção, ilustradas na Figura 3 e cujas características se encontram compiladas no Quadro 1.



(a)



(b)

Figura 3: Máquinas de tracção existentes no NMO, de capacidade: (a) 10 kN e (b) 100 kN

Quadro 1: Características das máquinas de tracção existentes no NMO

Marca	Instron
Modelo	4302 e 4483
Capacidade	10 kN e 100 kN
Dimensão da moldura de ensaio	2×0,3 m e 1×0,5 m
Gama de velocidades	0,5 a 500 mm/min

2.3.2.2. Garras e mordentes

Existem três tipos de garras – manuais, pneumáticas e hidráulicas – como se pode observar na Figura 4.

As **garras pneumáticas** (Figura 4-b) como o próprio nome indica funcionam com ar comprimido (baixa pressão), fornecido pela rede do laboratório (1 a 4 bar). Este tipo de garras é principalmente usado para materiais com grandes alongamentos na rotura e com forças de rotura pequenas devido à possibilidade das extremidades dos provetes escorregarem nas próprias garras.

As **garras com fecho manual** (Figura 4-a), e **hidráulicas** (Figura 4-c) são garras em cunha, quer isto dizer que exercem uma maior pressão de aperto com o decorrer do ensaio e com o aumento da força de tracção. Estas garras são usadas para materiais, tais como fibras de carbono, aço, madeira e outro tipo de materiais rígidos com alongamentos na rotura reduzidos.



(a)



(b)



(c)

Figura 4: Tipos de garras existentes no NMO: (a) fecho manual em cunha, (b) pneumáticas e (c) hidráulicas em cunha

A selecção dos mordentes (Figura 5) depende essencialmente do tipo de material e forma dos provetes, podendo ser usados mordentes **lisos** para materiais que requerem forças de aperto mais pequenas e os mordentes em **cunha (recarquilhados)** usados para forças de aperto mais elevadas.

Os mordentes em **cunha** a usar com as garras de aperto manual suportam provetes com uma espessura máxima de 24 mm e os mordentes a usar com as garras de aperto **hidráulico** suportam provetes com uma espessura máxima de 18 mm.



(a)

(b)

Figura 5: Tipos de mordentes existentes no NMO, para usar com: (a) recarquilhado para garras em cunha; (b) lisos para garras pneumáticas

2.3.2.3. Células de carga

Encontram-se disponíveis as células de carga listadas no Quadro 2, que devem ser seleccionadas de acordo com a gama de forças envolvidas durante o ensaio, dependendo da natureza e dimensões do provete. Estas células de carga são calibradas anualmente nas máquinas de ensaio, pelo pessoal do Laboratório Metrológico de Forças do Departamento de Estruturas do LNEC, I.P., sendo classificadas numa classe de exactidão, que deve ser igual ou inferior a 1.

Quadro 2: Gama e resolução das células de carga de tracção existentes no NMO

Gama	Resolução
10 N	0,01 até aos 1 N e 0,1 até aos 10 N
1 kN	0,01 até aos 100 N e 0,1 até aos 1000 N
10 kN	0,001 até 1 kN e 0,01 até aos 10 kN
100 kN	0,001 até 10 kN e 0,01 até aos 100 kN

De uma forma geral, a célula de carga seleccionada deve permitir que a carga máxima atingida durante o ensaio esteja situada entre 20% e 80% da sua capacidade máxima. Quando se obtiver um valor fora deste intervalo para o primeiro provete, a situação deve ser corrigida. Esta restrição pode não derivar da exactidão dos instrumentos de medida, resultando da conveniência em obter suficientes pontos de digitalização nos sistemas de aquisição automática de dados para minimizar os erros inerentes ao tratamento das curvas, designadamente na determinação do módulo de elasticidade. As células de carga podem ser usadas fora do intervalo referido desde que devidamente calibradas para a gama de trabalho.

2.3.2.4. Extensómetros

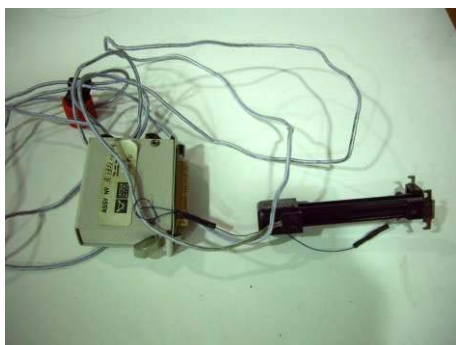
Os extensómetros destinam-se a medir a deformação que ocorre na zona calibrada do provete, através da leitura em contínuo da distância entre dois traços de referência, inicialmente separados por um valor conhecido.

Existem diferentes tipos de extensómetros, no NMO, mostrados na Figura 6:

- Extensómetro estático: usado para materiais com alongamentos na rotura pequenos, usado preferencialmente para o cálculo do módulo de elasticidade (Base de medida 50 mm).
- Extensómetro dinâmico: usado como o estático, mas com maior versatilidade por ter uma base de medida variável (Base de medida 12,5 mm, 25 mm e 50 mm).
- Extensómetro de longo curso: usado para materiais com alongamentos na rotura elevados, em situações em que não é necessária a determinação do módulo de elasticidade (base de medida de 25 e 50 mm).



(a)



(b)



(c)

Figura 6: Tipos de extensómetros existentes no NMO: (a) estático; (b) dinâmico; (c) de longo curso

A utilização dos extensómetros exige que estes sejam reconhecidos pela máquina de ensaio e que se encontrem devidamente calibrados. No Anexo A apresenta-se o procedimento utilizado nesta calibração.

2.3.3. Condições de ensaio

2.3.3.1. Condicionamento

Devem seguir-se as indicações dadas na norma de referência do ensaio (normalmente indicada na norma de produto) ou no pedido do ensaio. Em caso de omissão de tais informações, os provetes devem ser condicionados à temperatura de $23 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e à humidade relativa de $50 \% \pm 5 \%$ durante pelo menos 24 horas, e efectuar o ensaio nas mesmas condições.

2.3.3.2. Velocidade

A velocidade de ensaio deve estar de acordo com a norma de produto, ou, em caso de carência dessa informação deve ser acordada entre o LNEC, I.P. e o requerente, devendo, quando possível, estar em conformidade com as velocidades recomendadas na norma de ensaio.

Deve também ter-se em atenção que para a determinação do módulo de elasticidade, a velocidade de ensaio deve ser tal que a taxa de deformação seja aproximadamente de 1% do comprimento de referência por minuto.

Na generalidade dos ensaios de materiais termoplásticos, esta velocidade é muito pequena para a determinação da tensão e extensão na rotura que carecem de ensaio independente.

Deste modo, deve ser o requerente a decidir se pretende a determinação do módulo à velocidade de referência, ou se o objectivo da realização do ensaio pode permitir a sua determinação a outra velocidade.

2.3.3.3. Número de provetes

O número de provetes pode ser aumentado nas seguintes circunstâncias:

- quando a dispersão de resultados é muito significativa, sendo aconselhável um melhor tratamento estatístico;
- quando se colocarem dúvidas sobre a possibilidade de diversas zonas da amostra apresentarem comportamentos diferentes, ou se suspeitar da existência de anisotropia;
- quando tiver sido diferida para análise posterior a decisão de aceitação ou rejeição de um ou mais provetes.

2.3.4. Apresentação dos resultados

Para além dos resultados das diferentes propriedades em tracção, designadamente tensões de cedência e na rotura, e respectivas deformações e valores do módulo de elasticidade, é sempre aconselhável que se inclua no relatório de ensaio as curvas experimentais.

Outro aspecto muito relevante na apresentação de resultados de tracção é a indicação de roturas que se dêem fora da zona de secção transversal calibrada.

A aquisição e armazenamento automático dos resultados, designadamente dos canais de força e de deformação, permite a construção de gráficos em folhas de cálculo, após importação dos ficheiros produzidos pelo programa informático “Bluehill” da Instron, utilizado no NMO.

3. EXEMPLOS DE DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES EM TRACÇÃO

3.1. Material termoplástico

Apresenta-se, de seguida, uma fotografia de um provete de um material termoplástico (Figura 7) no início e no fim do ensaio, antes de se dar a rotura. Apresentam-se, também os resultados de um ensaio de tracção desse mesmo material que apresenta cedência e uma elevada extensão na rotura. No Quadro 3 apresentam-se os resultados obtidos e na Figura 8 as respectivas curvas experimentais.

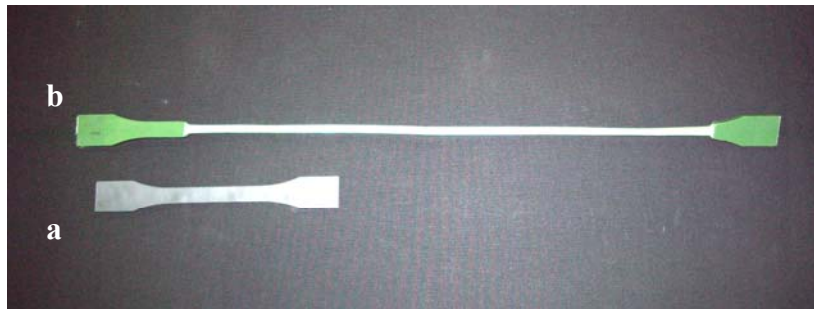


Figura 7: Ilustração de um material termoplástico no início (a) e no fim do ensaio antes de ocorrer a rotura (b)

Quadro 3: Resultados de um ensaio de tracção de um material termoplástico que apresenta cedência

	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento na rotura (mm)	Extensão na rotura (%)	Força máxima (N)
1	22,20	448,11	746,86	1262,28
2	22,33	602,43	1004,05	1265,50
3	28,14	822,48	1370,80	1617,18
4	27,73	797,87	1329,79	1592,48
5	28,12	805,00	1341,66	1592,48
Média	25,71	695,18	1158,63	1465,98
Desvio padrão	3,1	164,7	274,4	184,8

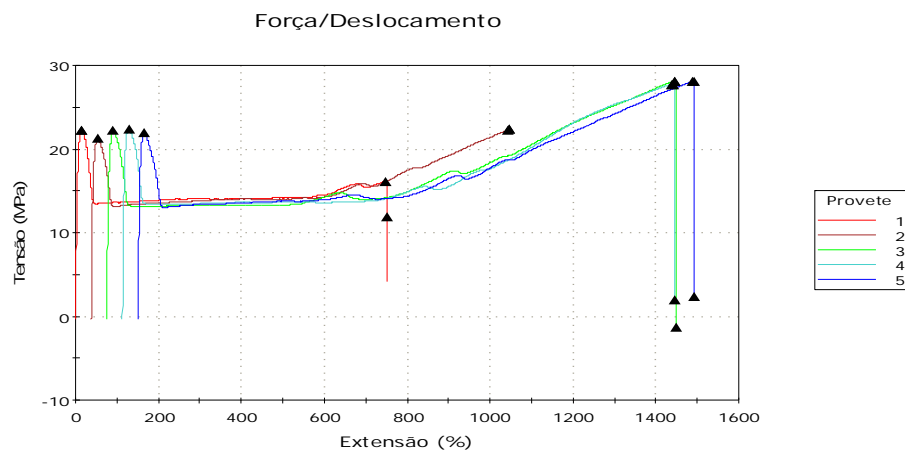


Figura 8: Curvas experimentais de um ensaio de tracção de um material termoplástico que apresenta cedência

(As curvas encontram-se desfasadas no eixo das abcissas para melhor visualização)

3.2. Material termoendurecível

Apresentam-se, de seguida, resultados de um ensaio de tracção de um material termoendurecível. Na Figura 9 apresenta-se uma imagem de um provete de resina epoxidica moldado por injecção. No Quadro 4 apresentam-se os resultados obtidos e na Figura 10 as respectivas curvas experimentais.



Figura 9: Ilustração do material termoendurecível

Quadro 4: Resultados de um ensaio de tracção de um material termoendurecível

	Espessura (mm)	Largura (mm)	Força máxima (kN)	Alongamento à força máxima (mm)	Tensão máxima (MPa)
1	4,088	10,178	1,058	0,912	25,42
2	4,149	9,975	1,176	1,229	28,42
3	4,214	9,946	1,108	0,845	26,43
4	4,159	9,910	1,231	0,975	29,87
5	4,220	10,070	0,990	0,591	23,29
Média	4,166	10,016	1,112	0,910	26,69
Desvio padrão	0,05	0,11	0,10	0,23	2,57

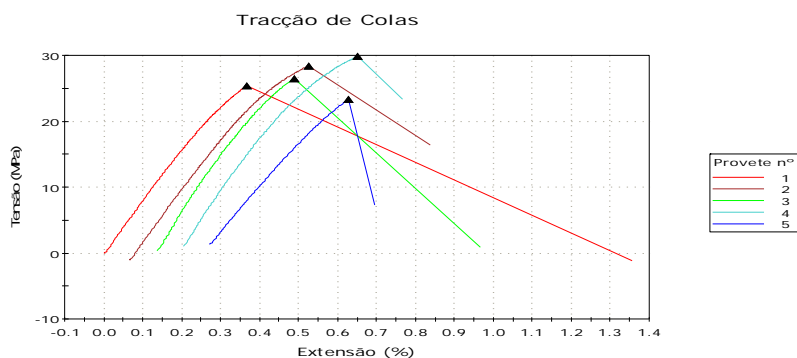


Figura 10: Curvas experimentais de um ensaio de tracção de um material termoendurecível

(As curvas encontram-se desfasadas no eixo das abcissas para melhor visualização)

3.3. Material compósitos de matriz polimérica

Apresentam-se, de seguida, resultados de um ensaio de tracção de um material termoendurecível reforçado com fibras. No Quadro 5 apresentam-se os resultados obtidos e na Figura 12 as respectivas curvas experimentais. Na Figura 11 apresenta-se uma imagem de um provete de PRFC (poliester reforçado com fibras de carbono), antes (a) e depois da rotura (b).



a)



b)

Figura 11: Ilustração de uma Fibra de carbono a) antes do ensaio e b) depois da rotura

Quadro 5: Resultados de um ensaio de tracção de um material termoendurecível reforçado com fibras

	Espessura (mm)	Largura (mm)	Força máxima (kN)	Alongamento na força máxima (mm)	Tensão máxima (MPa)	Extensão máxima (%)	Módulo de elasticidade (MPa)
1	1,451	10,155	44,308	9,046	3007	1,811	171578
2	1,445	9,608	15,098	4,172	1087	0,646	158946
3	1,451	10,173	43,288	9,530	2933	1,809	169139
Média	1,449	9,979	34,231	7,583	2342	1,422	166555
Desvio padrão	0,00	0,32	16,58	2,96	1087	0,67	6700

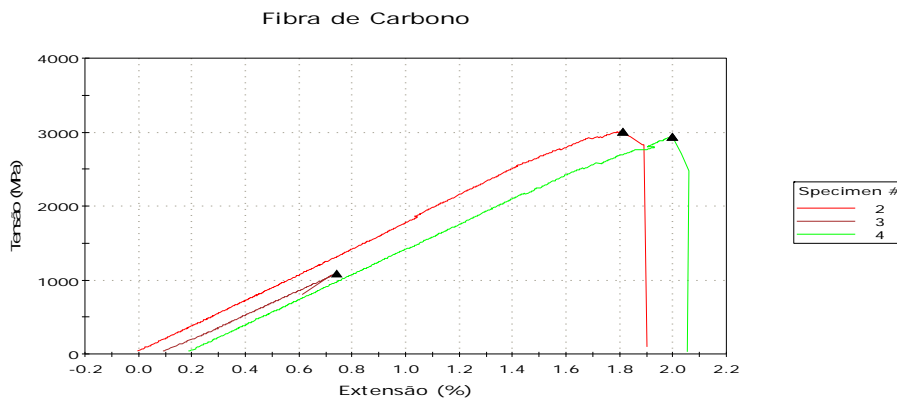


Figura 12: Curvas experimentais de um ensaio de tracção de um material termoendurecível reforçado com fibras.

(As curvas encontram-se desfasadas no eixo das abcissas para melhor visualização)

3.4. Película de tinta

Apresentam-se, de seguida, resultados de um ensaio de tracção de um material polimérico de revestimento por pintura de tinta para protecção de betão. Na Figura 13 apresenta-se uma imagem de um provete de película de tinta (a) antes do ensaio e (b) no alongamento máximo antes da rotura. No Quadro 6 apresentam-se os resultados obtidos e na Figura 14 as respectivas curvas experimentais.



a)



b)

Figura 13: Ilustração de uma película de tinta a) antes do ensaio e b) alongamento máximo antes da rotura

Quadro 6: Resultados de um ensaio de tracção de uma película de tinta

	Força máxima (N)	Tensão máxima (MPa)	Deslocamento máximo (mm)	Extensão máxima (%)
1	26,85	5,34	72,50	103,57
2	28,67	6,58	72,63	103,76
3	27,70	5,89	74,79	106,84
4	21,88	6,31	52,27	74,67
5	25,93	6,70	69,50	99,28
6	29,45	7,08	56,22	80,31
7	30,90	6,94	36,37	51,95
8	33,80	7,46	64,35	91,92
9	43,95	6,62	64,30	91,86
10	31,97	6,28	49,32	70,45
Media	30,1	6,5	61,2	87,5
Desvio Padrão	5,9	0,6	12,4	17,8

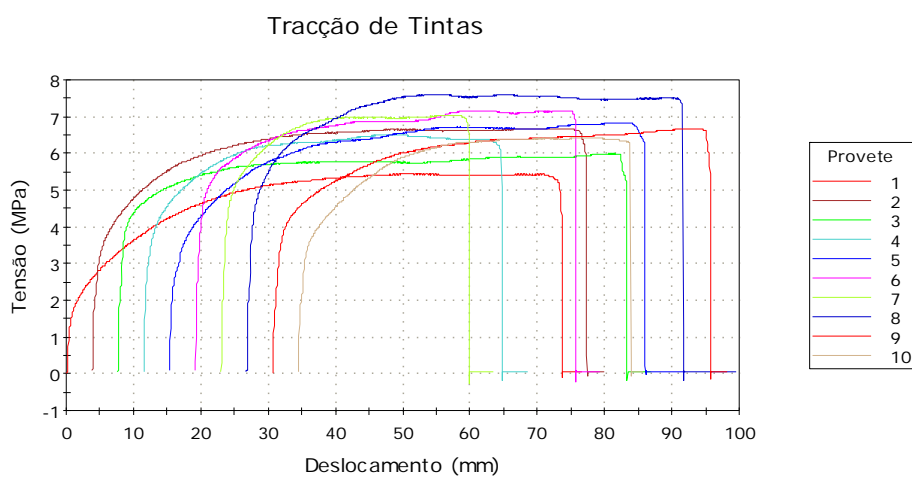


Figura 14: Curvas experimentais de um ensaio de uma película de tinta
(As curvas encontram-se desfasadas no eixo das abcissas para melhor visualização)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objectivo principal deste relatório consistiu em salientar a grande versatilidade dos equipamentos existentes no Núcleo de Materiais Orgânicos do LNEC, I.P. para caracterização mecânica em tracção de diferentes tipos de materiais. Enumerámos apenas alguns dos exemplos da grande diversidade de materiais ensaiados e a larga experiência existente para a sua caracterização.

Este relatório contou com a colaboração da assistente de investigação Eng.^a Susana Cabral da Fonseca.

Lisboa LNEC, Fevereiro de 2009

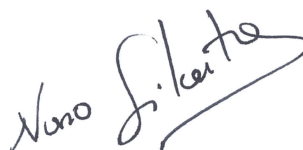
VISTOS

Chefe do Núcleo de Materiais Orgânicos



Maria Isabel Eusébio
Investigadora Coordenadora

AUTORIA



Nuno Silvestre
Técnico 2^a

Directora do Departamento de Materiais



Adélia Rocha
Investigadora Coordenadora

BIBLIOGRAFIA

- [1] Rocha, A. - Materiais plásticos para a construção civil. Informação Científica e Técnica - Materiais de Construção, LNEC, 1990.
- [2] Esgalho, H., Rocha, A. - Materiais plásticos para a construção civil. Características e tipos de aplicação. Informação Científica e Técnica - Materiais de Construção, LNEC, 2002.
- [3] Cabral-Fonseca, S. – Materiais compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras usados na engenharia civil. Características e aplicações. Informação Científica e Técnica - Materiais de Construção, LNEC, 2005.
- [4] ISO 527 – *Plastics. Determination of tensile properties. Part 1: General principles* (1993); *Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics* (1993); *Part 3: Test conditions for films and sheets* (1995); *Part 4: Test conditions for isotropic and orthotropic fibre reinforced plastic composites* (1997); *Part 5: Test conditions for unidirectional fibre reinforced plastic composites* (1997).
- [5] ASTM D 638 – *Standard test method for tensile properties of plastics* (2008).
- [6] ASTM D 3039 – *Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials* (2008).

ANEXO A

PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DOS EXTENSÓMETROS

A.1) Calibração do extensómetro automático de 50 mm de base de medida

Este extensómetro tem uma base de medida fixa de 50 mm e pode medir extensões até 50% do valor da base de medida. Deve ser usado preferencialmente para o cálculo do módulo de elasticidade.

Este extensómetro é de fácil calibração, pois é automaticamente reconhecido pela máquina de ensaios. Para tal, deve efectuar-se o seguinte conjunto de passos:

- Pressionar a tecla “strain call”, e verificar que no mostrador aparece indicada a base de medida de 50 mm (Figura A.1).
- Pressionar a tecla “Enter” enquanto se fixa a posição zero nos braços do extensómetro (ajuste dos dois botões).



Figura A.1: Calibração do extensómetro estático de 50 mm de base de medida

A.2) Calibração do extensómetro dinâmico de base de medida variável

Este extensómetro, tal como o anterior, deve também ser usado preferencialmente para o cálculo do módulo de elasticidade com a mais valia de se poder alterar a sua base de medida (ver Quadro A.1).

Quadro A.1: Relação entre a base de medida e a extensão do extensómetro dinâmico

Base de medida (mm)	Extensão máxima (%)
12,5	40
25,0	20
50,0	10

Para a calibração deste extensómetro é necessário utilizar o micrómetro calibrador de extensómetros, mostrado na Figura A.2, que permite aferir a percentagem da base de medida (extensómetro com um alongamento máximo de 5 mm).



Figura A.2: Calibração do extensómetro dinâmico de 25 mm de base de medida, no micrómetro

Para tal, devem ser efectuadas as seguintes acções:

- Colocar o extensómetro no calibrador usando duas argolas de borracha existentes para o efeito dentro da caixa do extensómetro.
- Para a calibração deste extensómetro (que não é reconhecido automaticamente pela máquina), devem ser executados o seguinte conjunto de passos:

- 1º) Pressionar a tecla “S1” e em seguida a tecla correspondente ao valor zero para limpar a memória da máquina. Ao efectuar este procedimento deverá ficar a piscar o “led” correspondente ao G.L. (“gauge length”), surgindo no mostrador a palavra “LOSS” (Figura A.3).



Figura A.3: Primeiro passo para a calibração do extensómetro

- 2º) Pressionar a tecla “Strain ball” seguido da tecla “Enter” e, em seguida, pressionar a tecla “Strain call”.
- 3º) Introduzir o valor máximo para a base de medida definida (20 neste caso pois a base de medida escolhida é de 25 mm) e, em seguida, pressionar a tecla “Enter”.
- 4º) Rodar o parafuso micrométrico do calibrador até ao máximo valor (5 mm). Neste momento o extensómetro tem um afastamento total de 30 mm.
- 5º) Digitar novamente o valor 20 e, em seguida, pressionar a tecla “Enter”.

Se tudo correu bem com a calibração o mostrador do “STRAIN” deverá indicar o valor 20 e o outro estar limpo. Se deslocarmos novamente o extensómetro para a posição inicial o mostrador deverá indicar 0,00%, e se deslocarmos novamente para a posição de afastamento máximo (5 mm) indicar os 20%.

A.3) Calibração do extensómetro de longo curso

Este extensómetro só deve ser usado para medir alongamentos na rotura de materiais com alongamentos elevados e nunca deve ser usado para o cálculo do módulo de elasticidade devido a ter pouca capacidade de resolução em pequenos alongamentos.

Para a calibração deste extensómetro deve ser usada a régua calibradora existente para o efeito e que está ilustrada na Figura A.4. No Quadro A.2 apresenta-se a relação entre a base de medida e a extensão do extensómetro de longo curso.

Quadro A.2: Relação entre a base de medida e a extensão do extensómetro de longo curso

Base de medida (mm)	Extensão máxima (%)
10,0	2500
20,0	1250
25,0	1000
50,0	500



Figura A 4 – Colocação da barra calibradora

Para tal, devem ser efectuadas as seguintes acções:

- Colocar a barra calibradora no extensómetro na base de medida pré-definida (por exemplo, 25 mm).
- Para a calibração deste extensómetro (que não é reconhecido automaticamente pela máquina), devem ser executados o seguinte conjunto de passos:

- 1º) Pressionar a tecla “S1” e em seguida a tecla correspondente ao valor zero para limpar a memória da máquina. Ao efectuar este procedimento deverá ficar a piscar o “led” correspondente ao G.L. (“gauge length”), surgindo no mostrador a palavra “LOSS” (Figura A.3).
- 2º) Pressionar a tecla “Strain ball” seguido da tecla “Enter” e em seguida pressionar a tecla “Strain call”.
- 3º) Introduzir o valor máximo para a base de medida definida (1000 neste caso) e, em seguida, pressionar a tecla “Enter”.
- 4º) Deslocar o “clip” superior do extensómetro para a posição correspondente ao valor máximo da escala seleccionada - 250 mm (1000%). Neste momento o extensómetro tem um afastamento total de 275 mm.
- 5º) Digitar, novamente, o valor máximo para a base de medida (1000) e, em seguida, pressionar a tecla “Enter”.

Se tudo correu bem com a calibração o mostrador do “STRAIN” deverá indicar o valor 1000 e o outro estar limpo. Se deslocarmos novamente o “clip” para a posição inicial o mostrador deverá indicar 0,00%, e se deslocarmos novamente para a posição de afastamento máximo (250 mm) indicar os 1000%.

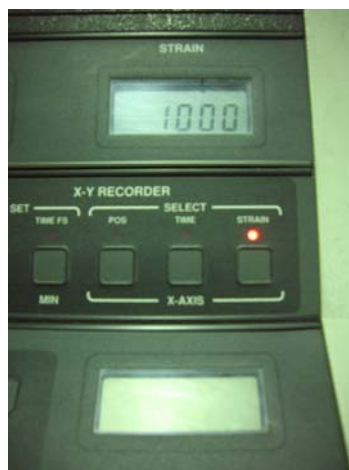


Figura A 5 – Valor em percentagem (1000%) para uma base de medida de 25 mm

