

ENSAIOS DE APLICAÇÃO RESISTÊNCIA À FLEXÃO

1. OBJETIVO

Determinar as propriedades de flexão de plásticos reforçados e não reforçados na forma de corpos de prova retangulares moldados diretamente ou cortados de laminados ou placas.

2. CUIDADOS NO MANUSEIO

Óculos de proteção durante ensaios nos corpos de prova.

Óculos de proteção, máscara de pó e protetor auricular e exaustão artificial na preparação dos corpos de prova.

3. APARELHOS NECESSÁRIOS

Placas de vidro de 25 x 25 cm

Estufa com circulação de ar estabilizada à $60 \pm 2^\circ\text{C}$ (indicado no termômetro)

Estilete

Lixa circular (100 ou 80)

Paquímetro com subdivisão de 0,02 mm

Máquina universal de testes

Registrador gráfico

Acessórios de flexão (\varnothing do suporte = 15 mm)

Termômetro de 0 a 150°C com subdivisão de $1/2^\circ\text{C}$

Indicador de temperatura e umidade de -10 a 50°C com subdivisão de 1°C e 5 a 100 % com subdivisão de 2% .

4. REAGENTES

De acordo com as formulações a testar.

5. PROCEDIMENTO

5.1. Corpos de prova:

As placas entre vidros deverão ser preparadas de acordo com instruções do **Anexo 1 (*abaixo)**. Essas placas deverão ser curadas na estufa à **$60 \pm 2^\circ\text{C}$ (indicado no termômetro)** por 48 horas.

Demarcar os corpos de prova nas dimensões especificadas, cortar na serra e identificar cada formulação; medir os corpos de prova e anotá-las. O número de corpos de prova a serem testados deve ser de 5, que deverão ser condicionados por 24 horas a uma temperatura de **$23 \pm 1^\circ\text{C}$** e umidade relativa de **$50\% \pm 5\%$ (lido no indicador de temperatura e umidade)**.

5.2. Preparo da máquina:

A máquina deverá ser ligada 10 minutos (**indicado no cronômetro**) antes de sua utilização. Isto serve para que haja uma estabilização em seus componentes eletrônicos. Conectar o registrador gráfico à máquina. Alinhar os pontos de carga e suportes até que os eixos das superfícies cilíndricas estejam paralelos e a distância entre os pontos de carga esteja na linha média entre os suportes. Regular os componentes da máquina de forma que os registradores indiquem zero em seus mostradores. Regular a máquina através da tabela 1.

5.3. Execução:

Ligar simultaneamente o botão de acionamento da máquina com o botão do registrador gráfico. Acompanhar a curva carga - deflexão indicada no mostrador do registrador gráfico. Quando se der a ruptura do corpo de prova, desligar simultaneamente os dois botões do processo. Se não ocorrer ruptura até que tenha atingido uma deformação máxima nas fibras externas de 0,05 mm/mm, parar o teste. A deflexão em que ocorre essa deformação pode ser calculada fazendo-se $r = 0,05$ mm/mm como se segue:

	$r \times L^2$
D =	-----
	6 x d

onde:

- D = Deflexão (mm)
- r = Deformação (mm/mm)
- L = Vão entre suportes (mm)
- d = Espessura do corpo (mm)

6. CÁLCULOS

6.1. Resistência à flexão (Módulo de ruptura):

Pode ser calculada em qualquer ponto sobre a curva carga-deflexão pela equação.

	$3 \times P \times L$
S =	-----
	$2 \times b \times d^2$

onde:

- S = Tensão nas fibras externas na linha média entre suportes (MPa)
- P = Carga em um dado ponto sobre a curva carga-deflexão (N)
- L = Vão entre suportes (mm)
- d = Espessura do corpo testado (mm)

OBS.: P pode ser tomado na ruptura ou no limite alongamento, e S é anotado respectivamente como "Resistência à Flexão na Ruptura" ou "Limite de Resistência à Flexão".

6.2. Deformação máxima:

	$6 \times d \times D$
r =	-----
	L^2

onde:

r = Deformação máxima nas fibras externas (mm/mm)
D = Deflexão máxima no centro do corpo testado (mm)
d = Espessura do corpo de prova (mm)
L = Vão entre suportes (mm)

6.3. Tensão de Máxima Fibra (módulo de elasticidade):

É a razão, dentro do limite de elasticidade, entre a tensão e a correspondente deformação. Pode ser calculada traçando-se a tangente na porção inicial de linha reta da curva carga-deflexão através da equação:

	$L^3 \times m$
EB =	-----
	$4 \times b \times d^3$

onde:

EB = Módulo de elasticidade (MPa)
L = Vão entre suportes (mm)
m = Valor da tangente da porção inicial (N/mm)
b = Largura do corpo testado (mm)
d = Espessura do corpo testado (mm)

7. PRECISÃO DO MÉTODO (Repetitividade e Reprodutividade)

A determinar estatisticamente.

8. COMENTÁRIOS

Os métodos são aplicados geralmente a materiais rígidos e semi-rígidos e não podem ser aplicados a materiais que não quebram ou não falham nas fibras externas. Existem dois métodos diferentes:

Método 1: sistema de carregamento de 3 pontos, utilizando centro de carga em um único ponto. Este método é empregado neste PP.

Método 2: sistema de carregamento de 4 pontos, utilizando 2 pontos de carga igualmente espaçados de seus pontos de suportes adjacentes, com uma distância entre os pontos de carga de um terço do vão entre suportes.

Para corpos de prova que tenham dimensões diferentes a este padrão, com ou sem reforço, deve-se verificar as condições adequadas, consultando-se as tabelas seguintes, conforme ASTM D-790, Método 1:

L/d = 16 para 1

Espessura do corpo (mm)	Largura do corpo (mm)	Comprimento do corpo (mm)	Vão entre suportes (mm)	Velocidade (proc. A) (mm/min.)
1	25	50	16	0.43
2	25	50	32	0.85
3	25	60	48	1.2
4	10	80	64	1.7
5	10	100	80	2.1
6	10	125	96	2.6
10	10	200	160	4.3
15	20	270	240	6.4
20	20	350	320	8.5
25	25	450	400	10.6

L/d = 32 para 1

Espessura do corpo (mm)	Largura do corpo (mm)	Comprimento do corpo (mm)	Vão entre suportes (mm)	Velocidade (proc. A) (mm/min.)
1	25	50	32	1.7
2	25	80	64	3.4
3	25	125	96	5.1
4	10	150	128	6.8
5	10	200	160	8.5
6	10	250	192	10.2
10	10	350	320	17.1
15	20	550	480	25.6
20	20	700	640	34.1
25	25	900	800	42.6

L/d = 40 para 1

Espessura do corpo (mm)	Largura do corpo (mm)	Comprimento do corpo (mm)	Vão entre suportes (mm)	Velocidade (proc. A) (mm/min.)
1	25	60	40	2.7
2	25	100	80	5.3
3	25	150	120	8.0
4	10	200	160	10.7
5	10	240	200	13.3
6	10	270	240	16.0
10	10	450	400	26.7
15	20	680	600	40.0
20	20	900	800	53.3
25	25	1100	1000	66.7

L/d = 60 para 1

Espessura do corpo (mm)	Largura do corpo (mm)	Comprimento do corpo (mm)	Vão entre suportes (mm)	Velocidade (proc. A) (mm/min.)
1	25	75	60	6.0
2	25	150	120	12.0
3	25	200	180	18.0
4	10	300	240	24.0
5	10	350	300	30.0
6	10	400	360	36.0
10	10	700	600	60.0
15	20	1000	900	90.0
20	20	1400	1200	120.0
25	25	1800	1500	150.0

Fazer um tratamento estatístico em cada série de valores, calculando o valor médio, o desvio padrão, o intervalo de confiança e a variação percentual do intervalo de confiança. Anotar também o número de corpos utilizados.

9. REFERÊNCIAS

ASTM D-790-93.

ANEXO 1: PREPARAÇÃO DE PLACAS ENTRE VIDROS

1. OBJETIVO

Preparar placas entre vidros com espessura definida visando confecção de corpos de prova.

2. CUIDADOS NO MANUSEIO

Utilizar luvas na lavagem de vidrarias; óculos de proteção durante todo o período de confecção das placas e pipetador automático.

3. REAGENTES

De acordo com a formulação a testar
Cera desmoldante

4. PROCEDIMENTO

- Após limpar as placas de vidro, aplicar uma fina camada de cera desmoldante sobre uma das faces de cada placa (usam-se duas placas para cada formulação) e, em seguida, polir com pano seco.

Material sem reforços (carregado ou não):

- Colocar entre as duas placas (com as faces contendo desmoldante uma frente a outra) um contorno de teflon ou PVC, fixadas com selante de silicone. A espessura da placa será determinada pela espessura deste contorno.
- Vedar as placas com fita adesiva larga e prender o sistema com no mínimo, 4 presilhas de metal constituindo assim um molde, o qual deverá ficar na posição vertical, com a abertura para cima.
- Confeccionar um funil de papel celofane para cada molde.
- Pesar a resina semi-analiticamente, em um pote de estabilidade e com o auxílio de uma pipeta, catalisar a resina conforme formulação e homogeneizar por 1 min (lido no cronômetro).
- Despejar a mistura cuidadosamente no molde e, em seguida, submeter o conjunto a um vibrador para retirada das bolhas. Deixar a resina em repouso à temperatura de 25°C durante 12- 24horas
- Para efetuar a pós cura proceder como segue:
 - Resina poliéster (exceto éster vinílico): estufa à 100°C por 2 horas
 - Resina éster vinílico: estufa à 150°C por 2 horas

Material reforçado com fibras de vidro:

- Colocar numa das placas (com as faces contendo desmoldante) um contorno de teflon ou PVC, fixadas com selante de silicone. A espessura da placa será determinada pela espessura deste contorno.
- Laminar os reforços com a resina indicada. Roletar para eliminar as bolhas de ar.
- Preencher com resina toda a superfície até atingir a espessura do contorno.
- Com o laminado ainda úmido, colocar sobre esta laminação a outra placa(*) (com as faces contendo desmoldante) pressionando para retirar o excesso de resina e o ar da superfície. (*) Pode-se substituir esta placa de vidro por um filme transparente (myler).
- Precionar e fixar o sistema com no mínimo 4 presilhas de metal constituindo assim um molde fechado.
- Deixar em repouso à temperatura de 25°C durante 12- 24horas
- Para efetuar a pós cura proceder como segue:
 - Resina poliéster (exceto éster vinílico): estufa à 100°C por 2 horas
 - Resina éster vinílico: estufa à 150°C por 2 horas

Informações orientativas com resultados sujeitos a variações dependendo da origem do produto e procedimento de aplicação. Não vincula nenhuma responsabilidade técnica a esta literatura.