

RELATÓRIO DE ENSAIO LCP06-000079

Empresa: Bérkel Chapas Acrílicas Ltda.

Endereço: Av. Presidente Arthur Bernardes, 46/66 - Rudge Ramos.
S Bernardo do Campo – SP CEP: 09618-000.

Tel.: (11) 4362-1300 **Fax:** (11) 4362-1300

A/C: Patrícia Greco.

Data de recebimento das amostras: 17/02/2006.

Data de início do Trabalho: 17/02/2006.

Data da emissão: 08/03/2006.

OS: 20975.

Realização de ensaios em chapas de PMMA

Objetivo:

Determinar a conformidade de 1 (uma) amostra de poli(metacrilato de metila) com alguns dos ensaios descritos na norma NBR ISO 7823-2 – “Plástico – Chapas de poli(metacrilato de metila) – Tipos, dimensões e características – Parte 2: Chapas extrusadas calandradas”.

Método de Análise:

Resistência à tração: realizado conforme item 6.5.2 da norma NBR ISO 7823-2. O ensaio de tração foi realizado segundo a ISO 527-1 – “*Determination of tensile properties*”. Este método é usado para investigar o comportamento sob tensão da amostra e para a determinação da resistência a tração, módulo sob tensão e outros aspectos da relação tensão/deformação sob tração sob condições definidas. Estes dados são úteis para caracterização qualitativa e pesquisa e desenvolvimento.

As propriedades sob tração podem variar conforme o modo de preparação dos corpos de prova, o ambiente e a velocidade de teste. Portanto quando for

desejável uma comparação precisa entre os resultados deste teste estas variáveis deverão ser cuidadosamente controladas. As propriedades obtidas podem fornecer informações úteis para o design de produtos de engenharia. No entanto devido a grande sensibilidade da maioria dos plásticos as taxas de deformação e as condições ambientais, os dados obtidos por este método não podem ser considerados válidos para aplicações envolvendo escalas de tempo/carga e ambientes muito diferentes daqueles empregados neste ensaio.

No ensaio a amostra é estendida em seu maior eixo longitudinal a uma velocidade constante até a amostra romper ou ainda a tensão (carga) ou a deformação (alongamento) atingir um valor pré-determinado. Durante este processo a carga suportada pela amostra e o alongamento são registrados.

A tensão sob tração expressa em megapascal (MPa), foi calculada de acordo com a equação 1.

$$\sigma = \frac{F}{(h \cdot W)} \quad (1)$$

onde

F é a força aplicada (em Newton);

W é a largura da seção útil do corpo de prova (em mm)

H é a espessura do corpo de prova (em mm)

O módulo de elasticidade é calculado pela equação 2:

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (2)$$

onde

E_t é o módulo de elasticidade (Young) expresso em MPa

σ_1 é a tensão, em MPa, medida na deformação $\varepsilon_1 = 0,0005$

σ_2 é a tensão, em MPa, medida na deformação $\varepsilon_2 = 0,0025$

Já a razão de Poisson é dada pela equação 3:

$$\mu_n = -\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon} \quad (3)$$

onde:

μ_n é a razão de Poisson expresso de forma adimensional com $n= b$ (largura) ou $h=$ (espessura) indicando a direção normal escolhida
 ε é a deformação no sentido longitudinal
 ε_n é a deformação no sentido normal, que pode ser $n= b$ (largura) ou $h=$ (espessura).

O equipamento utilizado apresenta as seguintes características:

- **Marca:** EMIC
- **Modelo:** DL10000

O ensaio foi realizado em corpos de prova Tipo 1-B conforme a ISO 527-2: - “Plastics - Determination of tensile properties - Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics”, usinados a partir das chapas acrílicas recebidas. Os corpos de prova foram retirados perpendicularmente ao sentido da extrusão. A velocidade de ensaio foi de 1 mm/min para a determinação do módulo elástico e de 5 mm/min para as demais propriedades. O ensaio foi realizado em 3 de março de 2006.

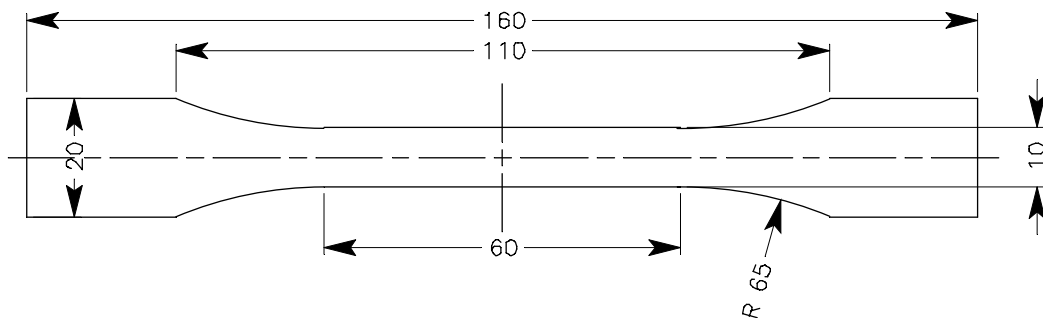


Figura 1 - Corpo de prova ISO 527-2 1B utilizado no ensaio de tração.

Resistência à flexão: realizado conforme item 6.5.1 da norma NBR ISO 7823-2. O ensaio foi realizado conforme a ISO 178 – “*Plastics – Determination of flexural properties*”. Ensaio de flexão são usados para investigar o comportamento mecânico em flexão de materiais. Pode-se obter informações sobre a tensão em flexão, módulo em flexão e outras propriedades de interesse. O ensaio foi realizado em corpos de prova sob carregamento em três pontos, sendo que o carregamento máximo ocorre exatamente na metade da distância entre os dois apoios fixos (“span”).

As dimensões aproximadas dos corpos de prova utilizados neste ensaio foram as seguintes:

- comprimento: 80,0 mm;
- largura: 10 mm e
- espessura: 4 mm.

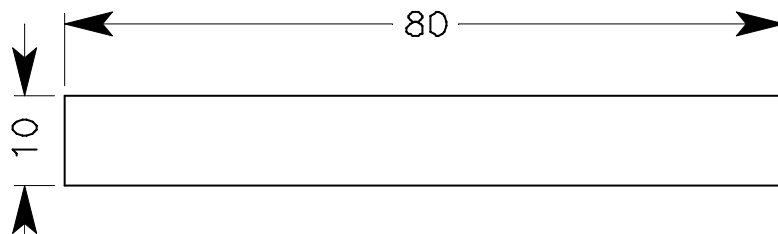


Figura 2 - Corpo de prova utilizado no ensaio de flexão conforme a ISO 178.

Corpos de prova com esta espessura exigem que a distância entre os dois apoios fixos (“span”) seja igual a 64,0 mm, isto é:

$$L = (16 \pm 1) \bar{h} \quad (4)$$

onde L= a distância entre dois apoios fixos e \bar{h} é a espessura média dos corpos de prova utilizado.

A tensão em flexão expressa em megapascal (MPa), foi calculada de acordo com a equação 2.

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (5)$$

Onde

F é a força aplicada (em Newton);

L é a distância entre os apoios fixos, (em mm);

b é a largura dos corpos de prova (em mm) e

h é a espessura dos corpos de prova (em mm).

Para o cálculo do módulo em flexão inicialmente deve-se determinar as deformações individuais s_1 e s_2 , que corresponde à flecha de na região linear inicial da curva tensão x deformação. Os valores de s_1 e s_2 são calculados de acordo com a equação 3.

$$s_i = \frac{\varepsilon_{fi} L^2}{6h} \quad (i=1,2) \quad (6)$$

sendo s_i a deflexão individual;

ε_{fi} os valores individuais da deformação ($\varepsilon_{f1}= 0,0005$ e $\varepsilon_{f2}= 0,0025$);

L é a distância entre apoios e

h é a espessura do corpo de prova.

Desta forma o módulo em flexão pode ser determinado de acordo com a equação 4:

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \quad (7)$$

onde σ_{f1} e σ_{f2} são as tensões medidas nos pontos de deflexão s_1 e s_2 respectivamente.

Os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios modelo DL10000 da EMIC, operando com célula de carga de 500 Kgf. A velocidade do ensaio foi de 2 mm/min, conforme sugere a norma. Como não foi definida uma direção preferencial para a retirada dos corpos de prova, os mesmos foram retirados perpendicularmente ao sentido da extrusão. O ensaio foi realizado em 23 de fevereiro de 2006.

Resistência ao impacto Charpy: realizado conforme item 6.5.3 da norma NBR ISO 7823-2. A propriedade foi determinada segundo a norma ISO 179 – “Plastics –Determination of Charpy impact strength”, utilizando-se um corpo de prova com 80 mm x 10 mm pela espessura do corpo de prova sem entalhe (ISO 179/1fU), um pêndulo de 2J e um span de 62 mm. Este ensaio foi realizado em 23 de fevereiro de 2006. O equipamento utilizado apresenta as seguintes características:

- **Marca:** CEAST
- **Modelo:** RESIL 25R

Este método é usado para indicado para investigar o comportamento de tipos de corpos de prova específicos sobre condições de impacto definidas e para estimar a fragilidade ou tenacidade das amostras dentro das limitações das condições de teste. Este método apresenta uma maior aplicabilidade do que o definido pela ISO 180 (impacto Izod) e é mais adequado para testar materiais que

apresentam fratura interlamelar por cisalhamento ou materiais que exibem efeitos superficiais devido a fatores ambientais.

Diferentes corpos de prova podem ser usados para ensaios de impacto Charpy dependendo da forma inicial da amostra e da característica que deseja ser analisada. Os tipos de corpo de prova utilizados para este ensaio podem ser observados na Tabela 1.

A designação do método de ensaio utilizado no ensaio, depende do tipo do corpo de prova, entalhe e direção do impacto como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 1 - Tipos de corpos de prova, dimensões e Span.

Tipo de C.P.	Comprimento [mm] (l)	Largura [mm] (b)	Espessura [mm] (h)	Span [mm] (L)
1	80 ± 2	10,0 ± 0,2	4,0 ± 0,2	62 ^{+0,5} ₀
2	25 h	10 ou 15	3	20 h
3*	(11 ou 13) h			(6 ou 8) h

*Para materiais que apresentam fratura interlamelar por cisalhamento.

Tabela 2 - Designação dos métodos.

Designação do método	Tipo de corpo de prova	Direção de impacto *	Tipo de entalhe	Raio na base do entalhe [mm]	Largura restante, b _n , na base do entalhe [mm]
ISO 179/1eU	1	Edgewise	Sem entalhe		
ISO 179/1eA			A	0,25 ± 0,05	8,0 ± 0,2
ISO 179/1eB			B	1,00 ± 0,05	8,0 ± 0,2
ISO 179/1eC		C	0,10 ± 0,02	8,0 ± 0,2	
ISO 179/1fU		Flatwise	Sem entalhe		

* Ver Figura 3

O cálculo da resistência ao impacto para corpos de prova sem entalhe é expressa em quilojoules por metro quadrado e é determinado pela seguinte fórmula:

$$a_{cU} = \frac{W}{h \cdot b} \cdot 10^3 \quad (8)$$

Já para corpos de prova entalhados a mesma energia é calculada como:

$$a_{cU} = \frac{W}{h \cdot b_N} \cdot 10^3 \quad (9)$$

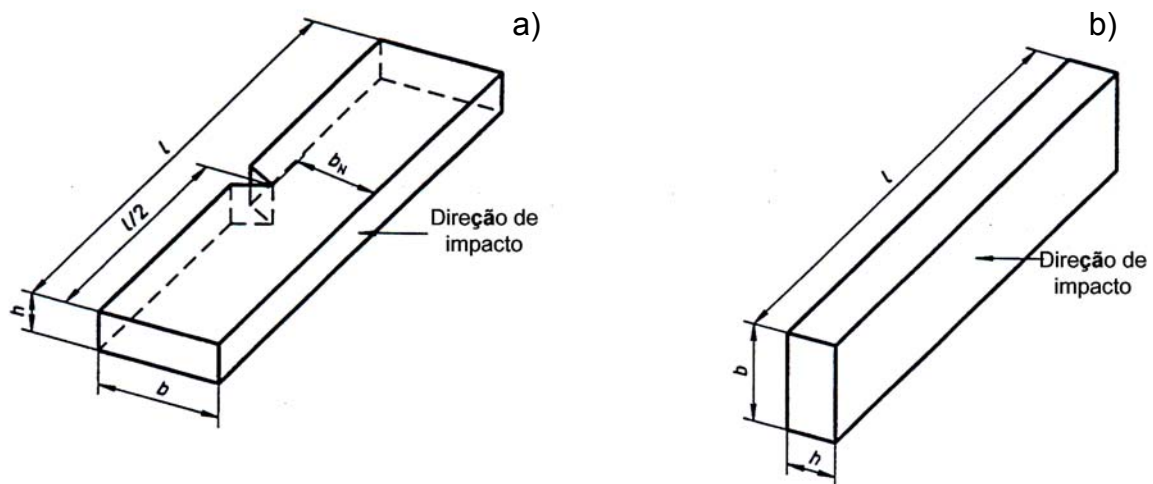


Figura 3 – Direção de impacto: a) edgewise e b) flatwise.

Temperatura de amolecimento VICAT: realizado conforme item 6.6.1 da norma NBR ISO 7823-2. A propriedade foi determinada segundo a norma ISO 306 - “Plastics – Thermoplastic materials – Determination of VICAT softening temperature”, método B50.

Neste ensaio uma agulha de ponta chata (com área de $1.000 \pm 0.015 \text{ mm}^2$) com uma massa específica é colocada em contato direto com a amostra. A massa

aplicada e a taxa de aquecimento empregada são definidas através dos seguintes métodos:

- ✓ Método A50: força de $(10 \pm 0,2)$ N e taxa de (50 ± 5) °C/h
- ✓ Método B50: força de $(50 \pm 1,0)$ N e taxa de (50 ± 5) °C/h
- ✓ Método A120: força de $(10 \pm 0,2)$ N e taxa de (120 ± 10) °C/h
- ✓ Método B120: força de $(50 \pm 1,0)$ N e taxa de (120 ± 10) °C/h

A temperatura na qual a agulha penetra $(1 \pm 0,01)$ mm é a temperatura de amolecimento VICAT.

As amostras devem possuir espessura entre 3 e 6,5 mm e pelo menos 10 mm x 10 mm em área ou diâmetro de 10 mm.

O meio de transferência de calor utilizado foi um banho de óleo de silicone em um equipamento, calibrado conforme procedimento de fabricante, com as seguintes características:

- **Marca:** CEAST
- **Modelo:** HDT 6 VICAT P/N 6921

Antes do ensaio os corpos de prova foram acondicionados por 16 horas a uma temperatura de 80° C e deixados resfriar em dessecador. Este ensaio foi realizado em 8 de março de 2006.

Espessura da Chapa: realizado conforme os itens 4.4.2, 5.2 e 6.4 da norma NBR ISO 7823-2. A placa foi acondicionada segundo a norma ISO 291 a 23°C e 50% de umidade relativa. O ensaio foi realizado em 22 de fevereiro de 2006.

Avaliação de aparência: realizado conforme item 4.2 da norma NBR ISO 7823-2. Observou-se os defeitos superficiais e inclusos .

A amostragem relativa e este certificado são de responsabilidade do cliente, e estes resultados referem-se apenas aos itens ensaiados (não extensivos a outras amostras). Reproduções devem ser feitas na íntegra.

Página 9 de 15

A amostra analisada foi identificada de acordo com a Tabela 1.

Tabela 3 - Identificação da amostra.

Identificação do cliente *	Código da amostra - CCDM
Chapa Cristal 1.016 x 2.007 x 4.00	LCP060158

* identificação fornecida pelo cliente.

Resultados:

O resultado de resistência à tração é apresentado na Tabela 4. O valor de módulo elástico foi obtido em um ensaio realizado a 1 mm/min. Os demais resultados foram obtidos a 5 mm/min. A espessura do corpo de prova utilizado é igual a espessura da chapa recebida como amostra. Na Figura 4 é possível observar as curvas de Tensão x Deformação obtidas. Para os cálculos os outliers foram desprezados.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de Tração.

Amostra	Módulo elástico (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Deformação na Tração (%)
LCP060158	3205	68,55	3,68
	3244	68,30	4,53
	3302	65,46	3,23
	3257	67,66	4,14
	3315	68,37	4,85
	3159	67,31	4,02
	3385	69,06	4,79
Média	3267	67,81	4,18
Desvio Padrão	75	1,19	0,59

A amostragem relativa e este certificado são de responsabilidade do cliente, e estes resultados referem-se apenas aos itens ensaiados (não extensivos a outras amostras). Reproduções devem ser feitas na íntegra.

Página 10 de 15

O resultado de resistência à flexão obtido é apresentado na Tabela 5. Na Figura 6 é possível se observar a as curvas Tensão x Deformação para as amostras ensaiadas sob flexão. Os corpos de prova foram ensaiados com a mesma espessura da chapa fornecida.

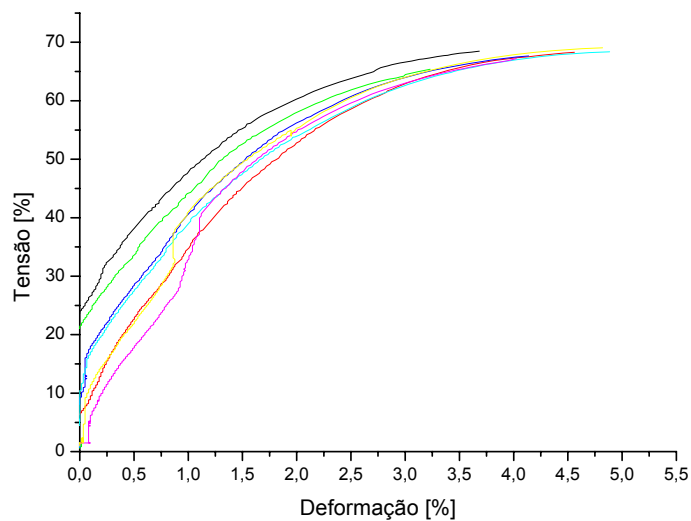


Figura 4 – Curva Tensão x Deformação da amostra LCP060158 sob Tração a 5 mm/min.

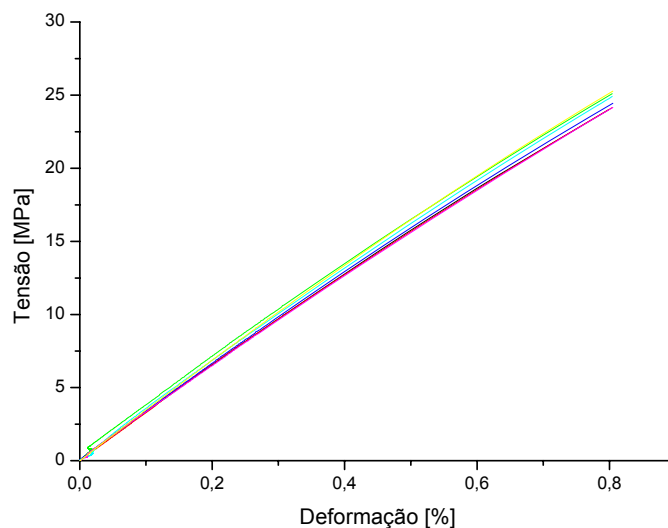


Figura 5 – Curva Tensão x Deformação da amostra LCP060158 sob Tração a 1 mm/min.

A amostragem relativa e este certificado são de responsabilidade do cliente, e estes resultados referem-se apenas aos itens ensaiados (não extensivos a outras amostras). Reproduções devem ser feitas na íntegra.

Página 11 de 15

Tabela 5 - Resultados do ensaio de flexão.

Amostra	Resistência à Flexão [MPa]
LCP060158	111,77
	111,21
	109,92
	110,94
	108,15
Média	110,4
Desvio Padrão	1,4

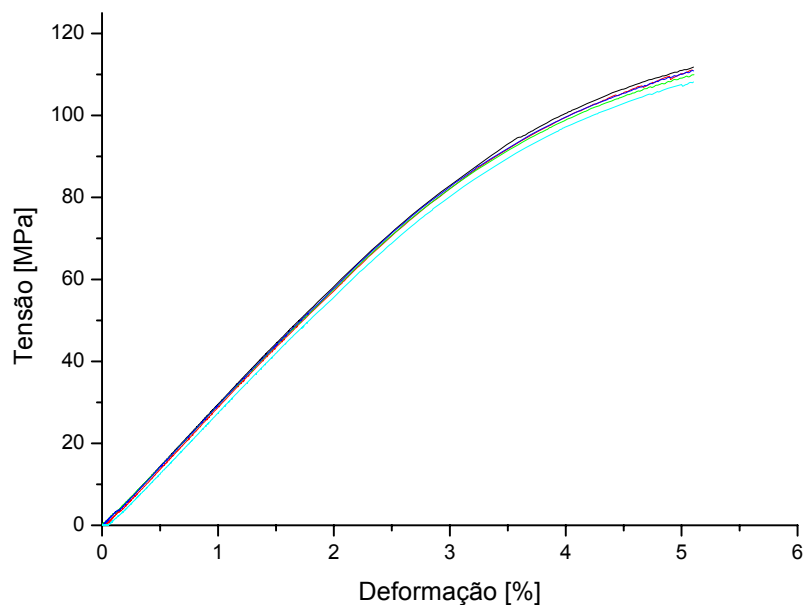


Figura 6 – Curva Tensão x Deformação da amostra LCP060158 sob flexão.

Os valores de energia absorvida durante o ensaio de impacto Charpy são apresentados na Tabela 7. Na Tabela 6 são apresentados os resultados de resistência ao impacto Charpy.

Tabela 6 – Resultados de resistência ao impacto.

Amostra	kJ/m ²	
	Média	Desvio
LCP060158	14,32	1,77

Os resultados de temperatura de amolecimento VICAT são apresentados na Tabela 8.

Tabela 7 - Resultados Individuais de energia absorvida.

LCP060158		
Impacto [J]	Energia Residual [J]	Resultado [J]
0,576	0,016	0,560
0,628	0,016	0,612
0,560	0,016	0,544
0,628	0,016	0,612
0,624	0,016	0,608
0,400	0,016	0,384
0,608	0,016	0,592
0,628	0,016	0,612
0,616	0,016	0,600
0,552	0,016	0,536
Média:		0,566
Desvio Padrão:		0,070

Tabela 8 - Resultados de temperatura de amolecimento VICAT.

Amostra	Temperatura de amolecimento VICAT [°C]	Temperatura de amolecimento VICAT (média) [°C]
	LCP060158	101,8
101,9		
102,1		

A espessura da placa medida com um micrômetro milesimal é apresentada na Tabela 9. Foram efetuadas ao todo 10 medidas ao redor da placa.

A amostragem relativa e este certificado são de responsabilidade do cliente, e estes resultados referem-se apenas aos itens ensaiados (não extensivos a outras amostras). Reproduções devem ser feitas na íntegra.

Página 13 de 15

Tabela 9 - Espessura da placa de acrílico: dimensões em milímetros.

LCP060158	
3,971	3,944
4,000	3,965
4,006	3,959
3,966	3,991
3,953	3,956
Média:	3,971
Desvio Padrão	0,021

Não foi observado nenhum defeito superficial ou incluso na área analisada da amostra LCP060158.

Conclusão

A Tabela seguinte apresenta um resumo dos resultados obtidos bem como os valores especificados para cada ensaio.

Amostra LCP060158				
Propriedade	Unidade	Subseção	Valor Especificado	Valor Obtido
Resistência à flexão	MPa	6.5.1	110 a115	110,4
Resistência à tração	MPa	6.5.2	> 60	67,81
Deformação na tração	%	6.5.2	> 2	4,18
Módulo de elasticidade na tração	MPa	6.5.2	> 2900	3267
Resistência ao impacto Charpy	KJ/m ²	6.5.3	> 8	14,32
Temperatura de Amolecimento VICAT	°C	6.6.1	> 88	101,9
Espessura da Chapa	mm	6.6.3	4 ± 0,4	3,971
Aparência	-	4.2	Classificação desprezível/ aceitável e distribuição aceitável	OK

A amostragem relativa e este certificado são de responsabilidade do cliente, e estes resultados referem-se apenas aos itens ensaiados (não extensivos a outras amostras). Reproduções devem ser feitas na íntegra.

Página 14 de 15

Portanto a amostra LCP060158 atende, aos requisitos da norma NBR ISO 7823-2 – “Plástico – Chapas de poli(metacrilato de metila) – Tipos, dimensões e características – Parte 2: Chapas extrusadas calandradas”.

São Carlos, 8 de março de 2006.

Eng. Rubens Eduardo dos Santos
Gerente Técnico - Polímeros
CREA/SP 5061453834