

# DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA INTERFACIAL ATRAVÉS DE ENSAIOS DE PULLOUT DE FIBRAS DE PIAÇAVA EMBUTIDAS EM RESINA POLIÉSTER<sup>1</sup>

*Denise Cristina de Oliveira Nascimento<sup>2</sup>*

*Sergio Neves Monteiro<sup>3</sup>*

*Ludy da Conceição Motta<sup>4</sup>*

*Regina Coeli Martins Paes Aquino<sup>5</sup>*

## **Resumo**

Ensaio de pullout são utilizados para a determinação do comprimento crítico e da tensão cisalhante interfacial de uma dada fibra reforçando determinada matriz polimérica. Este tipo de ensaio já foi preliminarmente utilizado para caracterizar a resistência interfacial das fibras de piaçava relativamente à matriz de poliéster. No presente trabalho, ensaios semelhantes foram estendidos a comprimentos de fibras relativamente menores a fim de precisar esta resistência. Os resultados desta análise atualizaram os valores do comprimento crítico e da resistência interfacial nestes compósitos. Observações por microscopia eletrônica de varredura possibilitaram caracterizar a eficiência do reforço proporcionado pela fibra à matriz polimérica, através das medidas do comprimento crítico e da tensão interfacial cisalhante da fibra de piaçava em relação à resina poliéster.

**Palavras-chave:** Fibra de piaçava; Compósito de poliéster; Ensaio de Pullout; Resistência interfacial.

## **DETERMINATION OF THE INTERFACIAL STRESS OF PIASSAVA FIBERS EMBEDDED IN POLYESTER RESIN BY PULLOUT TESTS**

## **Abstract**

Pullout tests are used to determine both the critical length and the interfacial shear stress of a given fiber reinforcing some polymeric matrix. This type of test has already been preliminarily applied to characterize the interface strength of piassava fibers with respect to polyester matrix. In the present work, similar tests were extended to smaller fibers lengths in order to precisely evaluate the interface strength. The result of this work updated the values of the critical length and the interfacial stress for piassava fibers reinforcing polyester matrix composites. Observations by scanning electron microscopy, allowed the characterization of the reinforcement efficiency provided by the fiber to the polymeric matrix by means of the values of both the critical length and the interface shear stress of the piassava fiber in relation to the polyester resin.

**Key words:** Piassava fiber; Polyester composite; Pullout test; Interfacial strength.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Doutorando, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, CCT/UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil. [denise\\_cristin@yahoo.com.br](mailto:denise_cristin@yahoo.com.br)*

<sup>3</sup> *PhD, Professor Titular, LAMAV – CCT/UENF.*

<sup>4</sup> *Graduando, LAMAV – CCT/UENF.*

<sup>5</sup> *D.Sc., Professora, CEFET – Campos, Campos dos Goytacazes -RJ.*

# 1 INTRODUÇÃO

O uso de matérias-primas de fontes renováveis vem sendo objeto de diversos estudos e pesquisas, devido ao atual interesse em substituir derivados petroquímicos. As fibras naturais apresentam um grande potencial de aplicações industriais nas áreas de revestimento interno de automóveis, ônibus e caminhões, bem como em painéis para construção civil.

Neste contexto, fibras naturais vêm sendo cada vez mais utilizadas como reforço em polímeros para fabricação de materiais compósitos devido, não só aos aspectos ambientais, mas também às características tanto técnicas quanto econômicas.<sup>(1)</sup> Em termos econômicos o baixo custo destas fibras e a possibilidade de aproveitamento de resíduos industriais são grandes vantagens. Em termos ambientais, sobretudo por serem as fibras naturais renováveis e biodegradáveis. Além disto, as fibras naturais apresentam vantagens técnicas pois podem melhorar sobretudo as propriedades mecânicas de compósitos poliméricos quando incorporadas de maneira contínua e alinhada.<sup>(2)</sup>

Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais lignocelulósicas, ou seja, fibras extraídas de diferentes partes de plantas vêm sendo cada vez mais investigados<sup>(1-3)</sup> e até mesmo empregados industrialmente<sup>(4-6)</sup> por suas vantagens técnicas e econômicas. Além disto, estas fibras lignocelulósicas são alternativas ambientalmente corretas, em comparação com as tradicionais fibras sintéticas, como as de vidro, carbono, náilon e aramida, entre outras razões, por seus aspectos biodegradáveis e renováveis.<sup>(7,8)</sup> No Brasil, a variedade de fibras lignocelulósicas é uma motivação adicional para as pesquisas de novos compósitos com estas fibras<sup>(8)</sup>, denominados compósitos verdes.

Os materiais compósitos considerados tecnologicamente mais relevantes da engenharia são aqueles cuja matriz é reforçada com fibras longas e alinhadas.<sup>(9-11)</sup> Nestes compósitos, tanto o comprimento da fibra quanto sua ligação com a matriz são fatores preponderantes para garantir os mais elevados valores de resistência e rigidez do material.<sup>(11)</sup> Fibras curtas acarretam uma ineficiente transferência da carga externa aplicada sobre a matriz do compósito. Por isto, há necessidade de um comprimento mínimo da fibra para uma efetiva transmissão de esforços através da matriz.

Kelly e Tyson<sup>(12)</sup> propuseram um comprimento crítico,  $l_c$ , que corresponderia ao limite para que a fibra fosse rompida sem se descolar da matriz para um esforço externo aplicado. Ou seja, acima de  $l_c$  estaria havendo efetiva transferência de carga da matriz para a fibra. O valor deste comprimento crítico pode ser obtido pela equação:

$$l_c = \sigma_f d / 2\tau \quad (1)$$

onde  $d$  é o diâmetro da fibra,  $\sigma_f$  a resistência à tração da fibra e  $\tau$  a resistência ao cisalhamento da própria matriz ou da interface fibra/matriz. Com base na Eq. (1), obtém-se a resistência  $\tau$  medindo-se experimentalmente  $l_c$  através do gráfico de pullout segundo metodologia própria.<sup>(12,13)</sup> Vale lembrar que, para fibras lignocelulósicas, a resistência interfacial fibra/matriz,  $\tau_i$  é sempre inferior à resistência ao cisalhamento da matriz  $\tau_m$ . Neste caso, a Eq. (1) está considerando o valor de  $\tau_i$  na resistência ao cisalhamento. Isto permite agora inverter a posição das

variáveis para uma nova equação indicando a resistência interfacial em função do comprimento crítico:

$$\tau_i = \sigma_f d / 2 \ell_c \quad (2)$$

Estas equações foram aplicadas em diversos trabalhos envolvendo fibras lignocelulósicas reforçando matriz de poliéster.<sup>(13-15)</sup> Possibilitou-se então calcular tanto o valor do comprimento crítico,  $\ell_c$ , quanto o da tensão cisalhante interfacial,  $\tau_i$ . O comprimento crítico serve para indicar a condição dimensional da fibra relativamente à possibilidade de reforço da matriz. A condição mais eficiente de reforço corresponde a fibras longas, nas quais o comprimento médio é maior que 15 vezes o valor crítico.<sup>(11)</sup> Por sua vez, a tensão cisalhante interfacial está relacionada à eficiência da ligação fibra/matriz. Estes parâmetros,  $\ell_c$  e  $\tau_i$ , são de fundamental importância para se avaliar o desempenho de uma dada fibra como reforço em um compósito com matriz polimérica específica.<sup>(15)</sup>

No caso das fibras lignocelulósicas, o valor da tensão cisalhante interfacial é baixo devido a sua natureza hidrofílica, ou seja, sua tendência à adsorção de água na superfície, o que dificulta a união com polímeros hidrofóbicos que repelem a água.<sup>(18,19)</sup> Em consequência, o desempenho das fibras lignocelulósicas é geralmente inferior ao das sintéticas como as fibras de vidro e carbono.<sup>(20)</sup> Um exemplo de interesse prático é a fibra de piaçava (*Attalea funifera*) nativa do estado da Bahia. Para esta fibra,  $\ell_c$  e  $\tau_i$  já foram caracterizados através de ensaios de pullout relativos à matriz de poliéster.<sup>(14)</sup> Nestes ensaios, obteve-se um valor relativamente elevado para o comprimento crítico, 15 mm, e baixo para a resistência interfacial, de 1,9 Mpa a 2,8 MPa. Assim, o objetivo desta investigação foi realizar um novo ensaio utilizando esta mesma matriz, porém estendendo a comprimentos de fibras de piaçava embutidas na resina poliéster, L, para valores relativamente menores. Isto permitiu avaliar criteriosamente o comprimento crítico e determinar a tensão cisalhante interfacial com valores mais precisos e atualizados.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

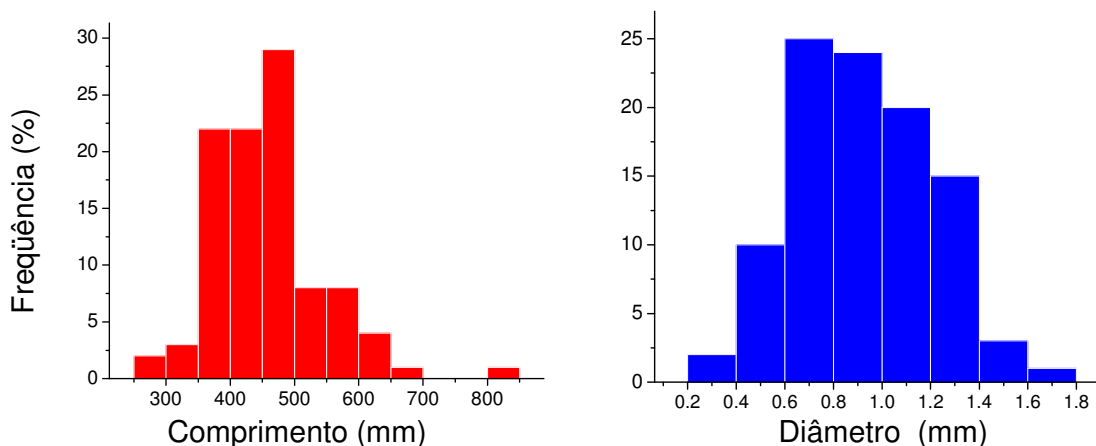
Fibras de piaçava baiana, (*Attalea funifera*) foram obtidas como rejeito industrial de uma fábrica de vassouras em Campos dos Goytacazes. A Figura 1, apresenta a palmeira piaçaveira e as fibras extraídas dos pecíolos da mesma.



Figura 1. Piaçaveira (planta) e as fibras extraídas desta planta.

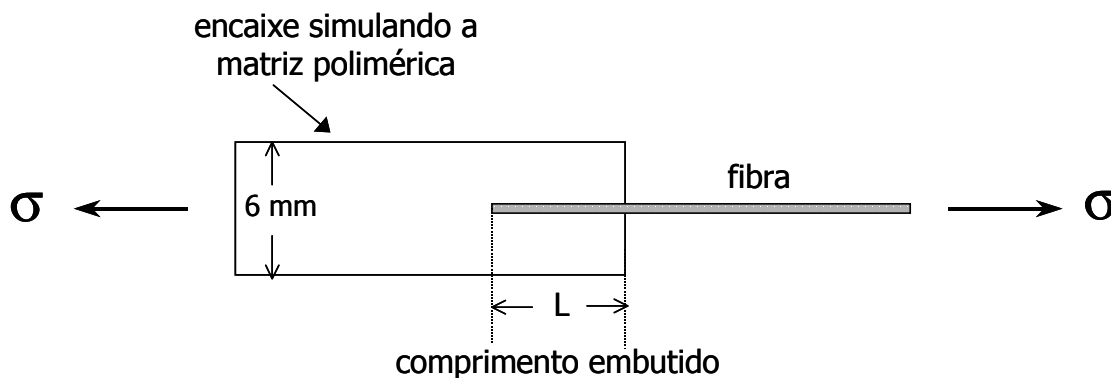
Embora sendo residual, as fibras escolhidas para o presente trabalho não apresentavam danos que pudessem comprometer os resultados de ensaio mecânicos, como já discutido em outro trabalho.<sup>(21)</sup>

Uma análise estatística das dimensões das fibras de piaçava investigadas neste trabalho, com base em 100 fibras individualmente extraídas do lote obtido, está apresentada na Figura 2. Nesta figura verifica-se uma dispersão marcante tanto no comprimento quanto no diâmetro das fibras. Este é um resultado típico para dimensões de fibras lignocelulósicas que, por sua própria natureza, são heterogêneas. Com base nos histogramas da Figura 2 obteve-se um comprimento médio de 450,25 mm e um diâmetro médio de 0,92 mm.



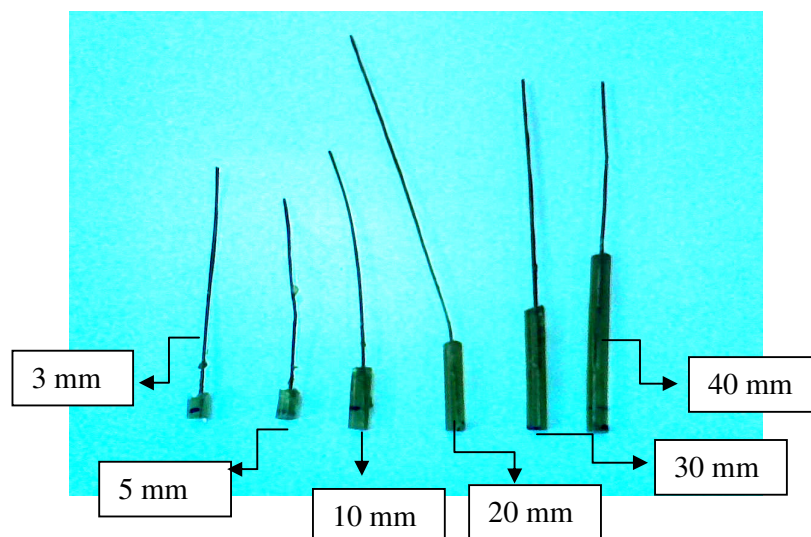
**Figura 2.** Análise estatística do comprimento e diâmetro das fibras de piaçava.

Os ensaios de pullout foram realizados de acordo com o esquema mostrado na Figura 3. As fibras foram parcialmente embutidas em uma cápsula cilíndrica de poliéster até o comprimento  $L$  que variou de 3 mm a 40 mm. A capsula, com diâmetro de 6 mm, foi moldada em um tubo de alumínio, sendo a fibra inserida enquanto a resina poliéster estava líquida. A resina poliéster utilizada foi do tipo ortoftálica acrescida de 0,5% de catalisador à base de metil-etil cetona, conforme indicado pelo fabricante. No momento da moldagem, acrescentou-se à resina o catalisador, na razão de 13 partes para 100 partes de resina, ou seja, phr 13.



**Figura 3.** – Esquema do corpo de prova do ensaio de pullout.

A cura foi realizada à temperatura ambiente, por volta de 25°C. A cápsula e a parte livre das fibras (Figura 3), foram presas em garras sob pressão e ensaiados em máquina Instron com capacidade de 100kN. Pelo menos dez corpos de prova como no esquema da Figura 3 foram ensaiados para cada fibra com um certo valor de L, visando garantir uma análise estatística. A Figura 4 apresenta uma foto dos corpos de prova, com diferentes comprimentos antes da realização do ensaio.

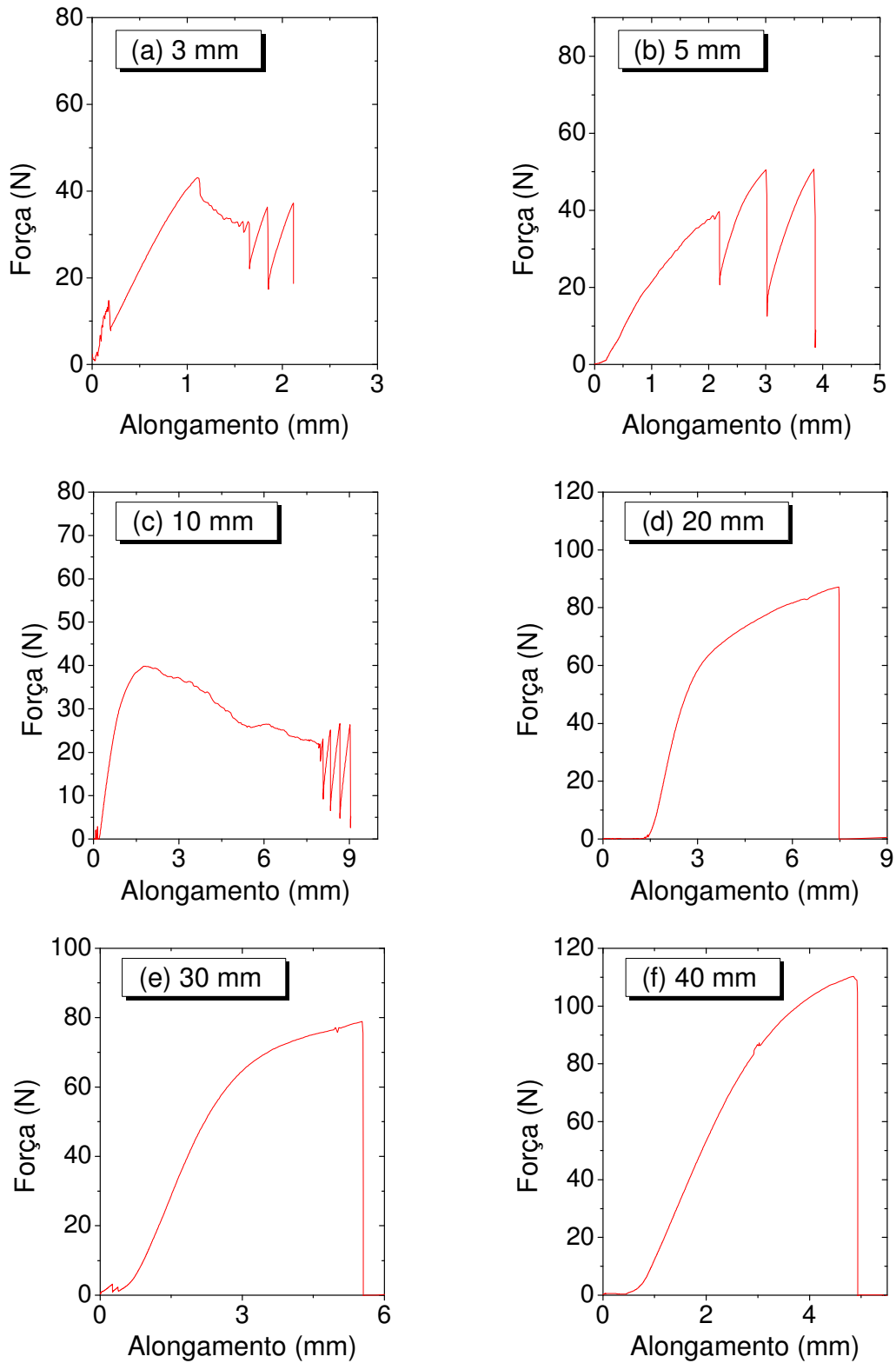


**Figura 4.** Corpos de prova confeccionados para ensaio pullout com diferentes valores de comprimento L embutido na cápsula de resina poliéster.

A ruptura ou escorregamento da fibra após o ensaio foi analisada por microscopia eletrônica de varredura, MEV, em um microscópio Jeol, modelo JSM-6460 LV do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, PEMM/COPPE/UFRJ, utilizando elétrons secundários acelerados a 15 kV.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A determinação da resistência interfacial,  $\tau_i$ , da fibra de piaçava na matriz de resina poliéster foi baseada no cálculo do comprimento crítico,  $l_c$ , conforme indicado na Eq. (2). Para se calcular  $l_c$ , foi necessário construir o gráfico, relacionando a tensão de pullout e o comprimento L da fibra embutida na resina conforme metodologia própria<sup>(12,13)</sup>. Por sua vez, o valor da tensão de pullout foi obtido através de curvas de tração em corpos de prova como os da Figura 4. Assim, a Figura 5 apresenta exemplos de curvas trativas de força em função do alongamento destes corpos de prova para cada um dos diferentes comprimentos embutidos, de 3 mm a 40 mm, considerados neste trabalho. Com relação a estas curvas, é importante observar algumas características específicas. No caso dos menores comprimentos embutidos, a maior parte das fibras foi arrancada da cápsula por deslizamento progressivo em relação à resina epóxi. Isto acarretou serrilhações típicas do processo gradativo de liberação da fibra com respeito à resina a ela ligada. A tensão interfacial relativamente baixa permite que este processo ocorra até  $L = 10$  mm como ilustrado nas Figura 5(a) a (c). Como foi dito, nestes ensaios a fibra é totalmente arrancada da cápsula de poliéster por deslizamento sem se romper.



**Figura 5.** Curvas de força em tração vs. alongamento para corpos de prova de fibras de piaçava embutidas em resina epóxi selecionados com diferentes comprimentos embutidos.

Para os maiores comprimentos embutidos, 20 mm, 30 mm e 40 mm na Figura 5, a tensão máxima é normalmente atingida com a ruptura da fibra sem

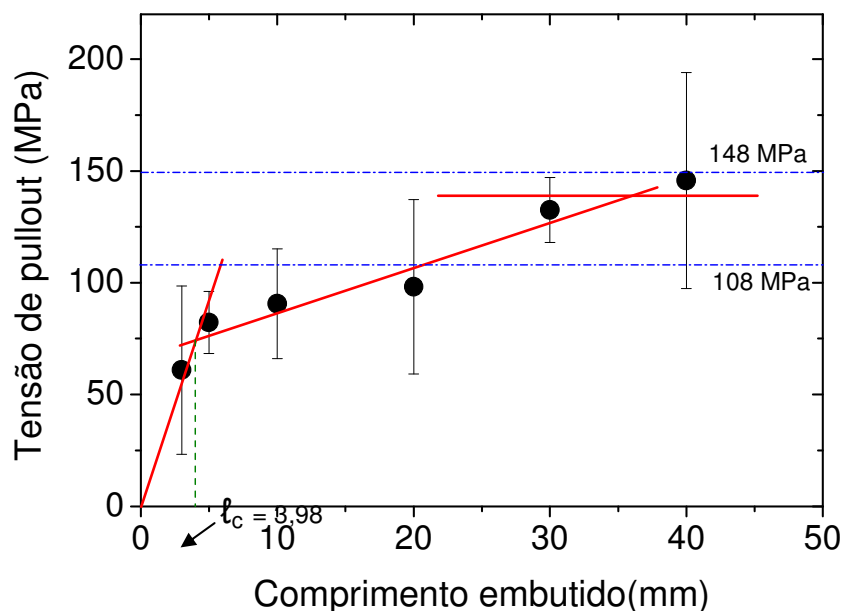
ocorrer seu arrancamento da cápsula, ou seja, maiores valores de L impedem o deslizamento da fibra em relação à resina. Neste caso, as curvas de tração, em geral, não apresentam serrilhações e se comportam de maneira contínua até a ruptura da fibra, como exemplificado nas Figuras 5(d) a (f).

Tendo em vista os resultados de todas as curvas, como ilustrado na Figura 5, obtiveram-se as médias e desvios padrão correspondentes a cada comprimento L embutido, conforme listado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Tensão trativa de pullout das fibras de piaçava em função do comprimento embutido na resina poliéster.

Comprimento embutido L (mm)	Tensão de pullout (MPa)
3	60,98 ± 37,65
5	82,25 ± 13,86
10	90,65 ± 24,51
20	98,23 ± 39,00
30	132,48 ± 14,53
40	145,74 ± 48,28

A partir dos dados da Tabela 1, construiu-se o gráfico de pullout mostrado na Figura 6. Neste gráfico, a tensão máxima de pullout na escala vertical está relacionada ao comprimento, L, na escala horizontal. Cada ponto representa a média com o respectivo desvio padrão, ou seja, a barra de erro, para dez ensaios de corpos de prova similares aos ilustrados nas Figuras 3 e 4.



**Figura 6.** Curva de pullout para fibras de piaçava embutidas em resina poliéster.

No gráfico de pullout da Figura 6 estão traçadas duas linhas horizontais tracejadas correspondentes aos limites indicados para a resistência à tração de fibras de piaçava.<sup>(8,14)</sup> Estes limites de aproximadamente 108 MPa e 148 MPa, englobam os pontos obtidos no presente trabalho para L = 30 mm e 40 mm, bem como a parte superior da barra de erro para L = 20 mm. Em princípio, estes



resultados são coerentes pois os ensaio de pullout para estes maiores comprimentos embutidos, Figura 5 (d) a (f), romperam nas fibras, simulando ensaios de tração. Em outras palavras, a cápsula de poliéster nestes casos agiu como uma garra, não permitindo que a fibra deslizasse. Isto implica que a força para arrancar a fibra da cápsula, supera aquela para sua ruptura.

Pelos pontos correspondentes aos dois maiores valores de L, 30 mm e 40 mm, traçou-se uma reta horizontal representativa do nível médio de resistência à tração das fibras investigadas, da ordem de 140 MPa. Para os menores valores de L = 3 mm e 5 mm, nos quais ocorreu efetivo deslizamento da fibra, traçou-se a melhor reta passando pela origem já que, no limite de L = 0, a tensão seria nula. Finalmente, entre os pontos de L = 5 mm, 10 mm, 20 mm e 30 mm, ajustou-se a melhor reta que serve de ligação entre as condições de deslizamento e ruptura da fibra. A interseção desta reta do meio com a reta passando pela origem, associada ao deslizamento, indica um comprimento crítico de praticamente 4 mm. O mesmo procedimento foi utilizado recentemente para se obter o comprimento crítico e a resistência interfacial de fibras de curauá em resina poliéster.<sup>(22)</sup> Maiores detalhes sobre esta metodologia para a determinação de  $l_c$  e  $\tau_i$ , baseada em três retas no gráfico de pullout, especificamente para fibras lignocelulósicas, estão apresentados em outra publicação.<sup>(13)</sup>

A partir do valor obtido para o comprimento crítico  $l_c = 4$  mm de fibras de piaçava embutidas em resina poliéster, foi calculada a tensão interfacial cisalhante,  $\tau_i$ , utilizando-se A Eq. (2). Para tal, usou-se como  $\sigma_f$  o valor da reta horizontal, 140 MPa entre os pontos L = 30 mm e 40 mm (Figura 6) correspondente à pura tensão de ruptura em tração. Para o diâmetro da fibra na Eq. (2), utilizou-se o valor médio de 0,92 mm obtido da análise estatística na Figura 2.

$$\tau_i = 14,42 \text{ MPa} \quad (3)$$

Este valor é relativamente elevado se comparado com os de outras fibras lignocelulósicas.<sup>(13,22)</sup> Entretanto, as rígidas fibras de piaçava, apresentam, comparativamente uma efetivo reforço à matriz poliéster,<sup>(1)</sup> o que justifica plenamente uma boa resistência interfacial. Por outro lado, tanto o valor do comprimento crítico, quanto o da tensão cisalhante interfacial obtidos no presente trabalho, diferem bastante dos anteriormente encontrados<sup>(14)</sup> para as mesma fibras de piaçava embutidas em resina poliéster. Alguns fatos explicam esta discrepância. O trabalho anterior<sup>(14)</sup> tinha um caráter preliminar e foi submetido à publicação como uma carta de comunicação. O cálculo do comprimento crítico foi feito em um gráfico de pullout cujo menor valor de L era de 5 mm. Na verdade, a metodologia empregada foi diferente da atual, pois utilizou, pela falta de menores valores de L, a interseção da reta do meio com a última horizontal, considerando-se a metodologia do presente trabalho. Além disso, o trabalho anterior<sup>(14)</sup> não apresentou barras de erro nos pontos e utilizou outra versão da equação de Kelly e Tyson<sup>(12)</sup> contendo o raio ao invés do diâmetro da fibra.

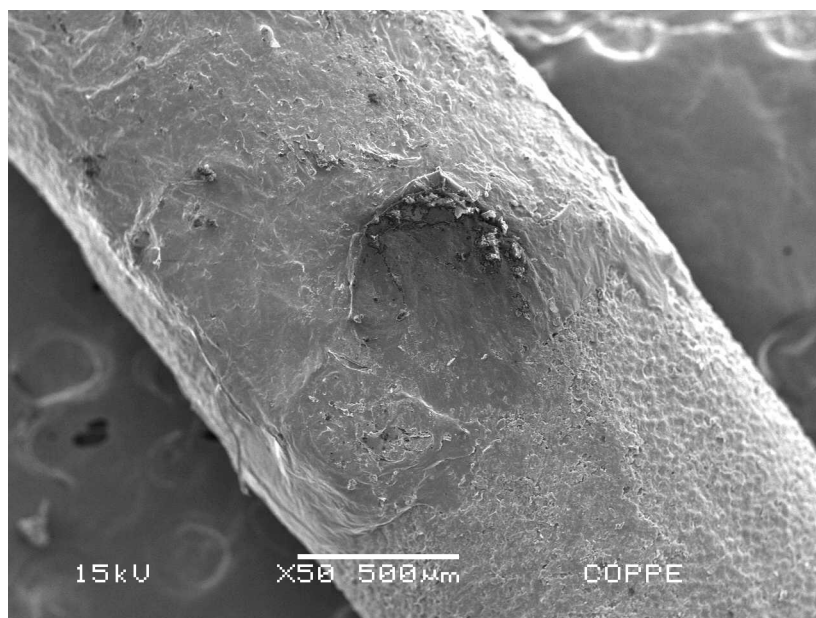
A Tabela 2 apresenta alguns resultados de  $l_c$  e  $\tau_i$ , contendo o do presente trabalho em comparação ao do trabalho anterior e de outras publicações sobre fibras lignocelulósicas em matrizes poliméricas.



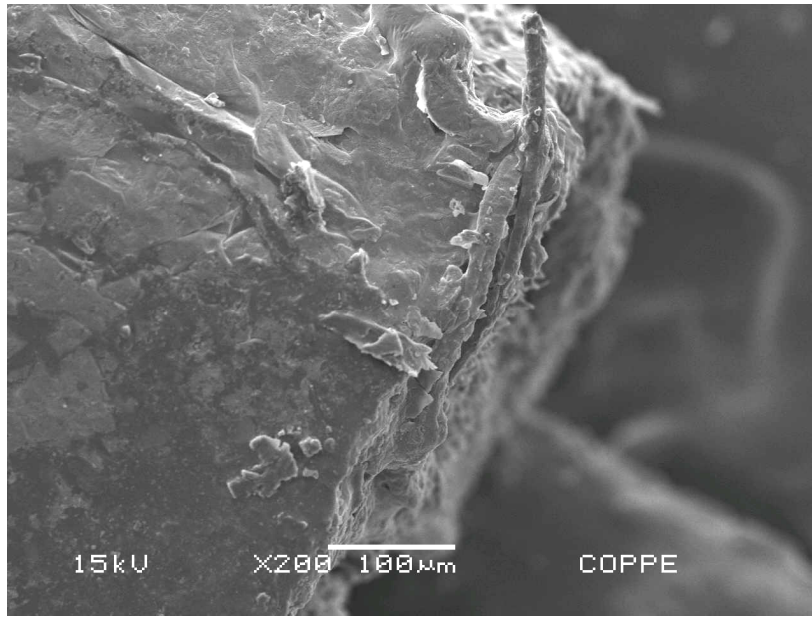
**Tabela 2.** Comprimento crítico e tensão cisalhante interfacial para diferentes compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas

Fibra/Matriz	$l_c$ (mm)	$\tau_i$ (MPa)	Referência
Piaçava/poliéster	4	14,4	Este trabalho
Piaçava/poliéster	15	1,9-2,8	(14)
Curauá/poliéster	10	3,4	(22)
Coco/epóxi	6	3,4	(23)

Em complemento aos resultados, realizou-se observações por MEV da superfície das fibras submetidas aos ensaios de pullout. Como ilustração, a Figura 7 apresenta uma fibra ensaiada com  $L = 3$  mm e que escorregou durante o ensaio. A superfície desta fibra está razoavelmente coberta com resina poliéster, exceto por uma região circular no meio, demonstrando uma boa adesão em decorrência da resistência interfacial, Eq. (3), relativamente elevada. A Figura ilustra a ponta de ruptura de uma fibra que não escorregou por ter um grande comprimento embutido,  $L = 40$  mm.



**Figura 7.** Aspecto da superfície de uma fibra de piaçava que escorregou da cápsula com  $L = 3$  mm.



**Figura 8.** Fractografia da ponta de ruptura de uma fibra embutida com  $L = 40$  mm que não deslizou.

#### 4 CONCLUSÕES

Resultados de ensaios de pullout em corpos de prova de fibras de piaçava embutidas com diferentes comprimentos de 3 mm a 40 mm em resina poliéster, permitiram construir um gráfico no qual se identificaram três regiões distintas.

A interseção da primeira reta ajustada aos pontos iniciais de  $L = 3$  mm e 5 mm e passando também pela origem, com uma segunda reta do meio ajustada aos pontos de 5 mm, 10 mm, 20 mm e 30 mm, permitiu determinar-se um comprimento crítico de praticamente  $l_c = 4$  mm.

A partir deste comprimento crítico e com o valor da terceira reta horizontal ajustada aos pontos de 30 mm e 40 mm, calculou-se pela equação de Kelly e Tyson uma tensão cisalhante interfacial,  $\tau_i = 14,42$  MPa, relativamente elevada.

Estes valores de  $l_c$  e  $\tau_i$  contrastam com os anteriormente obtidos, mas justificam o comportamento de compósitos com matriz poliéster nos quais as fibras de piaçava apresentam um efetivo reforço. A explicação para este fato seria uma resistência interfacial relativamente elevada como agora obtida

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERJ, CNPq, CAPES e FENORTE/TECNORTE. É também motivo de agradecimento a permissão para uso do MEV, pelo Prof. Luiz Henrique de Almeida do PEMM/COPPE/UFRJ.

#### REFERÊNCIAS

- 1 MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D.; FERREIRA, A.S.; NASCIMENTO, D.C.O. Natural fiber polymer matrix composites: Cheaper tougher and environmentally friendly. JOM, v. 61, p. 17-22, jan. 2009.
- 2 MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.P.; LOPES, F.P.D.; CARVALHO, E.A.; d'ALMEIDA, J.R.M. Comportamento mecânico e características estruturais de compósitos poliméricos

- reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá. *Rev. Mater.*, v. 11, n. 3, p. 197-203, 2006.
- 3 EICHHORN, S. J.; BAILLIE, C.A.; ZAFEIROPOULOS, N.; MWAKAMBO, L.Y.; ANSELL, M.P.; DUFRESNE, A. Review of current international research into cellulosic fibres and composites. *J. Mater. Science*, v. 36, p. 2107-2113, 2001.
  - 4 HILL, S. Cars that grow on trees. *New Scientists*, v. 153(2067), p. 36-39, 1997.
  - 5 MARSH, G. Next step for automotive materials. *Mater. Today*, v. 6, n. 4, p. 36-43, (2003).
  - 6 ZAH, R.; HISCHIER, R.; LEÃO, A.L.; BROWN, I. Curaua fibers in automobile industry – A sustainability assessment. *J. Cleaner Production*, v. 15, p. 1032-1040, 2007.
  - 7 BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose-based fibres. *Prog. Polym. Sci*, v. 24, p. 221-274, 1999.
  - 8 SATYANARAYANA, K.G.; GUIMARÃES, J.L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. *Composites: Part A*, v. 38, p. 1694-1709, 2007.
  - 9 ASHBEE, K.H.G., *Fundamental Principles of Fiber Reinforced Composites*, Lancaster: Technomic Pub. Co. Inc., 1993.
  - 10 CHAWLA K. K., *Composite Materials*, Nova York: Springer – Verlag, 1993.
  - 11 CALLISTER, W.D. *Materials Science and Engineering- An Introduction*, New York: John Wiley and Sons, 2000, p. 445.
  - 12 KELLY, A., TYSON, W.R., *High Strength Materials*, Nova York: Wiley, 1965.
  - 13 MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M. Ensaios de pullout em fibras lignocelulósicas – Uma metodologia de análise. *Rev. Mater.*, v.11, n. 3, p. 189-196, 2006
  - 14 AQUINO, R.C.M.P.; MONTEIRO, S.N.; d'ALMEIDA, J.R.M., Evaluation of the Critical Fiber Length of Piassava (*Attalea funifera*) Fibers using the Pullout Test; *J. Mater. Sci. Letters*, v. 22, p.1495-1497, 2003.
  - 15 MONTEIRO, S.N., D'ALMEIDA, J.R.M., DE DEUS, J.F., Ensaios de Pullout para Avaliar o Tamanho Crítico de Fibras Naturais, In: 60º CONGRESSO ANUAL DA ABM, Belo Horizonte, Brasil, 2005, p.1-10.
  - 16 MONTEIRO, S.N.; DE DEUS, J.F.; AQUINO, R.C.M.P.; d'ALMEIDA, J.R.M., Pullout Tests of Coir Fiber to Evaluate the Interface Strength in Polyester Composites, In: CHARACTERIZATION OF MINERALS, METALS & MATERIALS - TMS CONFERENCE, San Antonio, USA, 2006, p. 1-8.
  - 17 KELLY, A., *Strong Solids*, Londres: University Press, 1966.
  - 18 BLEDZKI, A.K.; REIHAME, S.; GASSAN, J., Properties and Modification Methods for Vegetable Fibers for Natural Fiber Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, v. 59, p. 1329-1336, 1996.
  - 19 ROUT, J.; MISRA, M.; TRIPATHY, S.S.; NAYAK, S. K.; MOHANTY, A. K., The Influence of Fibre Treatment on the Performance of Coir-Polyester Composites, *Comp. Sci. Technol.*, v. 61, p. 1303-1310, 2001.
  - 20 FU, S.Y.; LAUKE, B.; MÄDER, E.; Hu, X.; YUE C.Y., Fracture Resistance of Short-Glass-Fiber-Reinforced and Short-Carbon-Fiber-Reinforced Poly-propylene under Charpy Impact Load and its Dependence on Processing, *Journal of Materials Processing Technologies*, v. 89/90, pp. 501-507, 1999.
  - 21 DE DEUS, J.F.; MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M. Effect of drying, molding pressure, and strain rate on the flexural mechanical behavior of piassava (*Attalea funifera Mart*) fiber-polyester composites, *Polymer Testing*, v. 24, pp. 750-755, 2005.
  - 22 MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.P.; LOPES, F.P.D.; Performance of curaua fibers in pullout tests. *J. Mater. Sci.*, v. 43, p. 489-493, 2008.
  - 23 COSTA, L.L.; SANAFÉ JR., H.P.G.; MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D. Ensaios de pullout de fibras de coco em matriz epoxídica. In: 63º CONGRESSO ANUAL DO CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS – ABM, Jul. 2008, Santos, Brasil, p. 1-10