

INFLUÊNCIA DA TORÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FIOS DE ALTA PERFORMANCE

Paulino, I.N.¹, Silva, J.P.C.¹, Steffens, F.² e Oliveira, F.R.¹

¹ Departamento de Engenharia Têxtil – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – CT-UFRN – Natal- RN – Brasil – 59073-970
fernando.oliveira@ct.ufrn.br

² Departamento de Engenharia Têxtil – Universidade do Minho – Guimarães – Portugal – 4800-058

Resumo

A partir de uma pesquisa literária verificou-se que são poucas e muito antigas as investigações sobre a forma como a torção altera as propriedades mecânicas dos fios de alta performance, os quais normalmente são utilizados para fabricação de têxteis técnicos. Diante disso, este trabalho tem como objetivo principal determinar a influência da torção sobre a resistência à tração, alongamento e tenacidade de três diferentes fios de alta tenacidade e compará-los com um fio convencional de alta densidade linear. Os materiais estudados incluem: para-aramida, carbono, polietileno e algodão. Estes materiais foram torcidos em condições controladas de temperatura ($20^{\circ}\text{C} \pm 1$) e umidade relativa ($65\% \pm 2$), com a utilização de um torsiômetro eletrônico Texcontrol Modelo 640. As propriedades mecânicas dos fios em estudo foram verificadas através do dinamômetro Mesdan Modelo Tensolab 3000, usando como referência a norma ASTM D 2256/80. A partir dos resultados obtidos foi determinado o coeficiente de torção ótimo para cada um dos materiais envolvidos neste estudo, bem como a melhor relação torção x resistência, aspecto imprescindível para se obter materiais com propriedades mecânicas ainda mais elevadas, visando sua aplicação nas mais diversas áreas da engenharia.

Palavras chaves: Fios de alto desempenho, Torção, Tenacidade.

Abstract

According to literature there are few and very old investigations about the relationship between high performance yarn twist, which are very used in technical textiles, and its mechanical properties. Therefore, this study aims to determine the influence of twist on the tensile strength, elongation and tenacity of three different high-tenacity yarns and compare them with a natural yarn with high count number. The materials studied were: Para-Aramid, Carbon, Polyethylene and Cotton yarn. These materials were twisted under controlled conditions of temperature ($20 \pm 1^{\circ}\text{C}$) and humidity ($65\% \pm 2$) with the use of an electronic Twist tester Texcontrol Modelo 640. The mechanical properties of the yarns were performed by dynamometer Mesdan Modelo Tensolab 3000, using the norm ASTM D

2256/80. With the results obtained were determined the optimal twist coefficient for all materials involved in this study, comparing with the best values of tensile strength, which is an essential aspect to obtain materials with even higher mechanical properties for application in several areas of engineering.

Keywords: High performance Yarn, Twist, Tenacity.

Introdução

A indústria têxtil brasileira dá sinais evidentes de inconformismo perante o imobilismo de décadas no que diz respeito aos processos e aos produtos que disponibiliza no mercado. De fato é fundamental encontrar alternativas à produção excessiva de *commodities*, buscando respostas mais simples para agregar valor aos seus produtos (BRUNO, 2011).

Com o avanço tecnológico as propriedades exigidas aos materiais convencionais sofreram alterações, levando ao aparecimento de materiais inovadores capazes de responder a requisitos outrora inimagináveis. Os materiais têxteis de alto desempenho, tais como: para-aramida, meta-aramida, carbono, polietileno de ultra peso molecular, PBO, PBI, poliimida, poliéster e poliamida de alta tenacidade são alguns exemplos de substratos fibrosos que surgiram nos últimos anos e que vem aumentando muito a importância e participação no mercado dos produtos denominados têxteis técnicos. Estes são definidos como fibras ou materiais têxteis que desempenham os critérios técnicos para eles pré-estabelecidos. Tratam-se de materiais que buscam trazer uma resposta funcional a uma vasta gama de requisitos específicos, tais como: leveza, resistência, reforço, filtração, retardante de fogo, condutividade, isolamento, flexibilidade, absorção dentre outros. (NOLLET, 2014 e KHALIFA).

Graças à natureza das fibras (sintética, regeneradas, naturais, inorgânicas), bem como a escolha das técnicas de fabricação mais relevantes (fiação, tecelagem, entrançamento, malhas, não tecidos), incluindo os processos de acabamentos (tingimento, impressão, revestimento, laminação), os têxteis técnicos são capazes de propor soluções únicas que oferecem excelentes propriedades, adequadas às necessidades específicas dos usuários finais. (KHALIFA; HORROCKS e ANAND, 2000)

Os domínios de aplicação dos têxteis técnicos são extraordinariamente variados, incluindo: *Agrotech*: agricultura, horticultura e pescas; *Buildtech*: construção e obras públicas; *Clothtech*: componentes funcionais para calçado e vestuário; *Geotech*: geotêxteis e engenharia civil; *Hometech*: componentes de mobiliário e revestimentos de

pavimentos; *Indutech*: filtração e outros produtos para a indústria; *Medtech*: cuidados de saúde e higiene; *Mobiltech*: construção de veículos de transporte; *Protech*: proteção pessoal; *Sportech*: esporte e lazer. [(MATSUO,2008), (GOOD, 2006), (DESAI; JAIN; SOLANKI, 2012), (Kaufman; Kroszner, 2007)].

A nível mundial, o desenvolvimento da produção de tecidos técnicos é ilustrado pelo consumo de fibras. No ano de 2010 a quantidade de fibras consumidas para aplicação em têxteis técnicos em todo o mundo foi de aproximadamente 22 mil milhões de toneladas, representando 27,5% do consumo total de 80 bilhões de toneladas para todas as aplicações têxteis e de vestuário (CAPPELLINI, 2008).

Dentre estes materiais as fibras de carbono e de aramida vem ganhando um destaque especial, e seu crescimento é de fato evidente. Apesar da alta tenacidade destes materiais, verifica-se que existe a possibilidade de aumentar ainda mais a resistência à tração dos mesmos, pelo simples processo de torção.

Através de uma pesquisa literária foi observado que existem poucas investigações sobre como a torção altera as propriedades mecânicas em fios sintéticos de filamentos contínuos, incluindo os denominados fios de alta performance (RIEWAD; NEMOURS, 1986 e DETERESA et al, 1984).

Diante disso, este trabalho tem como objetivo principal determinar a influência da torção sobre a resistência à ruptura, tenacidade e alongamento de três diferentes fios de alta resistência (polietileno, para-aramida e carbono). Um fio convencional de algodão com alta densidade linear será também estudado para efeito de comparação.

Revisão Bibliográfica

Estruturas fibrosas torcidas, como cordas e cabos de fibras ultra resistentes estão sendo utilizadas em uma grande variedade de aplicações que requerem não só alta resistência à tração e rigidez, mas também flexibilidade na dobragem. Estas novas aplicações incluem: estruturas lineares (por exemplo, cordas de suspensão em pontes, linhas de paraquedas, fios para pneus), e estruturas com base em tecido bidimensionais (por exemplo, coletes balísticos, revestimentos e painéis em automóveis e aviões). Em muitas destas aplicações críticas, a sobrevivência do utilizador depende do funcionamento ideal da estrutura têxtil utilizada e, em tais casos, previsões de como essas estruturas irão se comportar são, sem dúvida, cruciais. (PORWAL, BEYERLEIN, PHOENIX, 2007).

A fibra de aramida é uma fibra orgânica da família das poliamidas aromáticas, desenvolvida para aplicações industriais exigentes e tecnologicamente avançadas. As propriedades singulares e a composição química diferenciada deste grupo distinguem as poliamidas aromáticas (aramidas) e, de maneira especial, a fibra de aramida das outras fibras comerciais fabricadas pelo homem. De maneira única, esta fibra combina nobres propriedades em um mesmo material. Caracterizada por possuir uma elevada resistência mecânica, alta estabilidade dimensional, módulo de elasticidade relativamente alto e baixa densidade (em relação às fibras de carbono e vidro), apresenta uma força até 5 vezes superior ao aço, porém sem perder flexibilidade e peso. Suas principais características ainda compreendem alto ponto de fusão e alta estabilidade térmica. (BELINE, 2012).

A expressão “fibra de carbono” geralmente se refere a uma variedade de produtos filamentosos compostos por mais de 90% de carbono com filamentos de 5 a 15 µm de diâmetro, produzidos pela pirólise da poliácridonitrila (PAN), piche ou rayon. (LUBIN, 1969 apud LEBRÃO, 2008). Comparadas com outros materiais utilizados nos campos da engenharia, as fibras de carbono possuem como propriedades principais altos valores de resistência à tração, módulo de elasticidade extremamente elevado e baixa massa específica. Além da resistência e rigidez, as fibras de carbono possuem excelente resistência à fadiga, características de amortecimento de vibrações, resistência térmica e elétrica, estabilidade dimensional e são quimicamente inertes, exceto à oxidação. (CALLISTER, 1997 apud LEBRÃO, 2008).

O polietileno (PE) é um dos plásticos mais utilizados atualmente. Desenvolvido em 1933, é classificado com base nos tipos de ramificação e densidade. Polietileno de baixa densidade (PEBD) e polietileno de alta densidade (PEAD) são dois tipos de polietileno. Enquanto que o PEAD é mais duro e resistente, o PEBD é mais flexível e transparente. (COUTINHO, 2003).

Quase todos os fios de filamento contínuo têm alguma torção, e alguns chegam a ser altamente torcidos. Exemplos são fios para tecidos crepe e *voile*, usados em produtos de moda como vestidos, fios para fins industriais utilizados isoladamente ou em estruturas compósitas, tais como revestimento de pneus, dentre outros. (HEARLE; EL-BEHERY; THAKUR, 1959).

O comportamento mecânico dos filamentos contínuos e a sua forma estrutural e geométrica são aspectos essenciais para definição da aplicação técnica a ser considerada. Além disso, o estudo de fios torcidos de filamentos contínuos corresponde a um trampolim útil para a compreensão de fios básicos, nos quais há a complicação

adicional da descontinuidade entre as fibras, onde a torção é a responsável para mantê-las unidas na seção transversal do fio (HEARLE; EL-BEHERY; THAKUR, 1959).

Assim sendo, a torção é uma característica física do fio, definida pelo número de voltas por unidade de comprimento. O seu objetivo é fornecer uma coesão mínima entre as fibras, garantindo que as mesmas tenham resistência a tração necessária no processo de manufatura que serão submetidas, bem como posteriormente em sua aplicação final. A coesão depende diretamente das forças de fricção fornecidas pela pressão lateral entre as fibras, ou seja, as pelas torções as quais os fios são submetidos (VASCONSCELOS, 1993).

Há pouca informação na literatura sobre a variação do módulo de tração em função da torção de filamentos contínuos e a maioria dos trabalhos publicados são da primeira metade do século passado. Os resultados obtidos por Maginnis e Hamburger, para fios de *rayon* viscoso e acetato, mostraram que o módulo altera consideravelmente em função da variação da torção (MAGINNIS, 1950 e HAMBURGER, 1948).

Em um outro estudo realizado por Grover e Hamby foi verificadas alterações no limite elástico de vários fios de filamentos contínuos a medida que se alterava a torção aplicada (GROVER; HAMBY, 1956).

A maior parte dos trabalhos científicos que relacionam a tenacidade de filamentos contínuos com o fator de torção apresentam que o aumento do coeficiente de torção determina o aumento da tenacidade do filamento até um certo limite, a partir do qual uma torção mais pronunciada diminui a resistência pela eclosão da ruptura de fibras. O aumento inicial é geralmente explicado pelo incremento do apoio mútuo dos monofilamentos e como a força de atrito interage nesta situação.

Materiais e Métodos

Materiais

Os materiais usados neste estudo foram: filamento de polietileno (PE) 194 tex, filamento de para-aramida (KEVLAR) 116 tex, filamento de carbono 1654 tex e pavião de algodão (CO) 695 tex.

Equipamentos

Para execução da parte experimental deste trabalho foram utilizados equipamentos descritos a seguir.

Meadeira

O ensaio de título das amostras foi realizado em uma meadeira automática da marca MARTE. Os testes foram feitos de acordo com a norma ABNT NBR 13214:1994: Determinação do título de fios.

Torsiômetro

O equipamento torsiômetro da marca TEXCONTROL MODELO 640 foi usado com o objetivo de fornecer a torção necessária aos fios investigados. Os fios foram adaptados e retirados do torsiômetro de forma tensionada, com o intuito de garantir a quantidade de torção aplicada. Os valores estabelecidos foram: 0, 10, 30, 60, 120 e 240 torções por metro.

Dinamômetro

Para caracterizar a resistência à tração, o alongamento à ruptura e a tenacidade dos materiais, foi utilizado o equipamento dinamômetro da marca MESDAN MODELO TENSOLAB 3000, usando a norma ASTM D 2256/80. Foram realizados dez ensaios para cada amostra e as condições de temperatura e umidade foram controladas durante os experimentos ($20 \pm 1^\circ\text{C}$ e $65 \pm 2\%$, respectivamente).

Resultados e discussão

A figura 1 mostra visualmente a influência da torção sobre os fios de algodão, para-aramida e carbono, respectivamente.



Figura 1 – Efeito da torção nos fios de algodão (a), para-aramida(b) e carbono (c).

A partir da análise da figura 1 é possível verificar um afinamento da seção transversal a medida que se aumenta a torção para os fios em estudo (amostras do lado esquerdo para os fios (a) e (b) e amostra inferior para o fio (c)). Este efeito ocorre devido a maior coesão das fibras para o fio de algodão e monofilamentos de aramida e carbono,

de acordo com o incremento da torção aplicada. Observa-se ainda que a torção a níveis mais elevados ocasiona uma contração considerável em todos os fios testados. No entanto o excesso de torção nos fios pode gerar a obtenção de um efeito denominado “efeito mola”, o qual pode influenciar de forma negativa o seu processamento posterior.

Os resultados de contração dos fios em estudo a partir do incremento da torção pode ser verificado na tabela 1.

Tabela 1 – Valores de contração dos fios após aplicação de diferentes torções.

Contração dos fios (%)				
Torção (tpm)	Polietileno	Para-Aramida	Carbono	Algodão
30	0.0	0.0	0.0	0.0
60	0.0	0.0	1.8	1.0
90	0.9	0.9	3.6	1.8
120	1.8	1.8	9.1	3.6
240	7.3	3.6	-	14.5

De acordo com a tabela 1 verifica-se que os fios de carbono e de algodão foram os que obtiveram as maiores contrações, com valores de 9.1% e 14.5% - para as torções de 120 tpm e 240 tpm, respectivamente.

As contrações observadas nos materiais supracitados podem ser explicadas da seguinte forma: quando um feixe de fibras ou filamentos paralelos são torcidos, a distância entre as duas extremidades de uma fibra (filamento) irá diminuir, em particular para fibras (filamentos) próximos da superfície do feixe torcido. Como resultado, o comprimento total do feixe torcido é mais curto do que o seu comprimento, antes da inserção de torção. A redução no comprimento devido à inserção de torção é conhecido como a contração ocasionada pela torção.

A figura 2 (a), (b), (c) e (d) apresenta os valores de força máxima encontrados em função das diferentes torções utilizadas neste estudo para os fios de polietileno, para-aramida, carbono e algodão, respectivamente.

Os resultados obtidos mostram que a torção possui uma influência marcante nos resultados de resistência a tração dos fios estudados. O aumento da torção eleva a resistência dos fios até um certo momento denominado como “ponto ótimo”. A partir deste instante o aumento da torção possui um efeito negativo para a propriedade de resistência à tração do fio. Este efeito foi teoricamente documentado em um estudo realizado por (PAN; HUA; QIU, 2001).

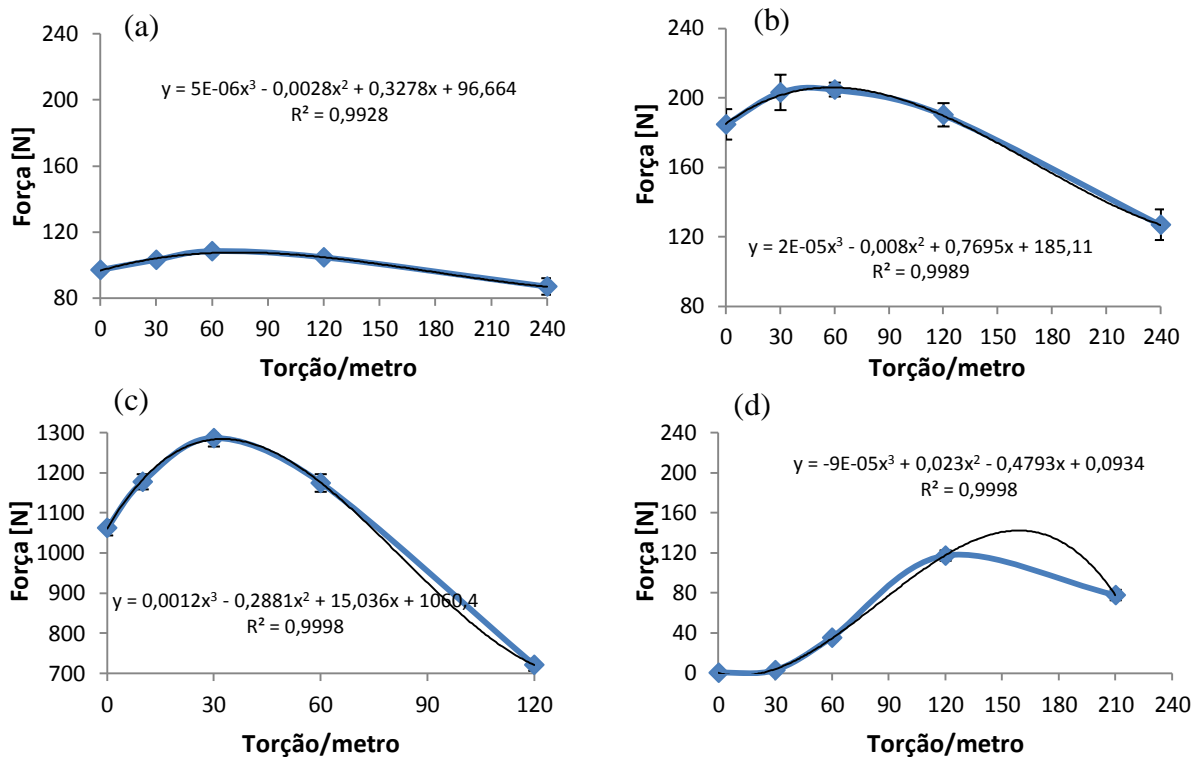


Figura 2 – Resultados da Força Máxima obtida em função da torção aplicada: (a) Polietileno; (b) Para-aramida; (c) Carbono e (d) Algodão.

Para os fios de polietileno e para-aramida os resultados mais altos de resistência à tração foram encontrados com o valor de 60 torções/metro. O fio de carbono apresentou como ponto ótimo o valor de 30 torções/m e o pavio de algodão apresentou como valor ótimo 180 torções/m. Esta diferença tão significativa observada quando comparamos os fios de algodão e carbono deve-se a natureza da matéria-prima e principalmente as diferenças estruturais na formação do fio de CO e do filamento de carbono. Enquanto o fio de carbono estudado resiste a uma carga máxima de aproximadamente 130 kg, o fio de para-aramida resiste à aproximadamente 23 kg, o de polietileno 11 kg e o de algodão 12 kg.

Apesar desta diferença significativa na força máxima de ruptura, a propriedade que realmente confirma de modo comparativo a performance dos fios será a tenacidade, uma vez que esta é representada pela razão entre a carga de ruptura e a densidade linear do fio. A figura 3 ilustra os resultados de tenacidade e de alongamento à ruptura dos quatro materiais investigados.

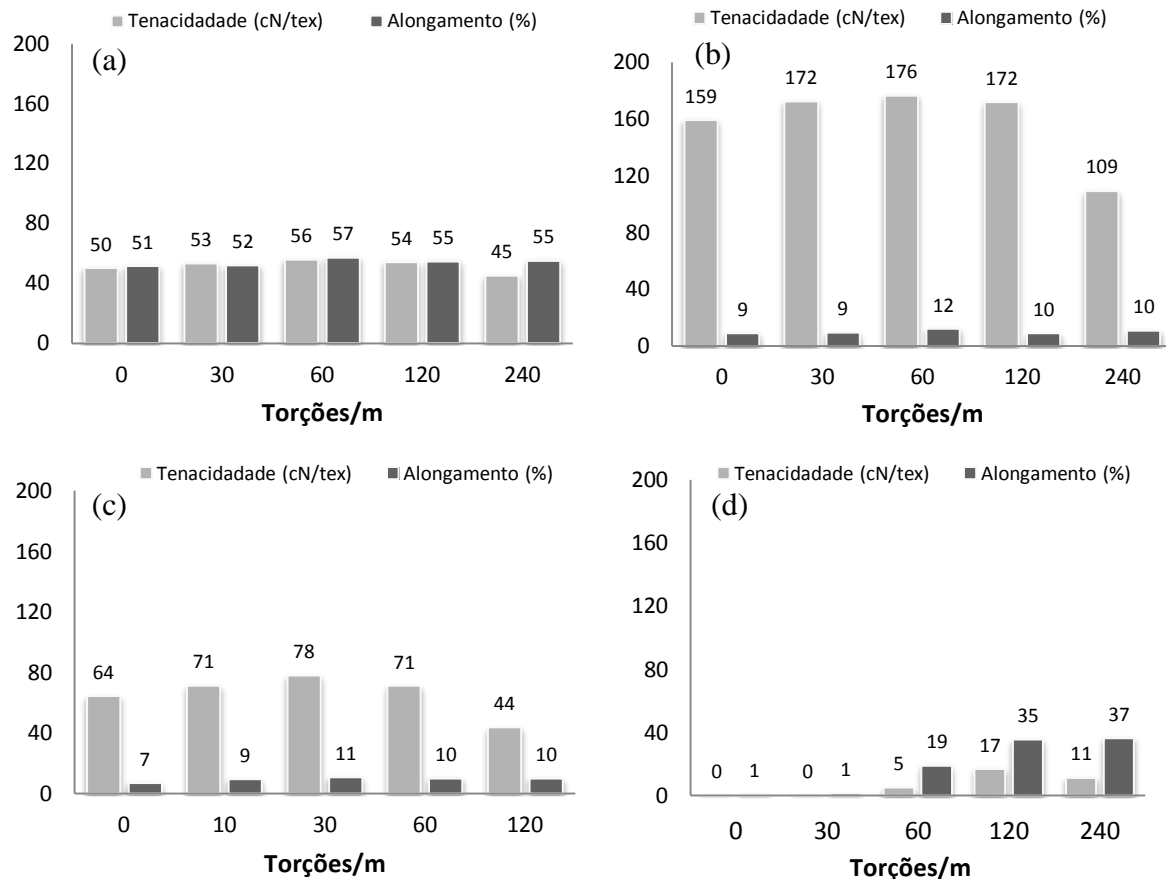


Figura 3 – Resultados da tenacidade em função da torção aplicada: (a) Polietileno; (b) Para-aramida; (c) Carbono e (d) Algodão.

Os resultados evidenciam que a tenacidade é uma propriedade em que a torção possui uma influência marcante. Observa-se em uma análise individual que a tenacidade inicial para o fio de algodão é praticamente nula, uma vez que este fio é composto por fibras curtas e estas até a torção de 30 torções/m e não possuem uma coesão suficiente para suportar a carga aplicada - visto que as fibras apenas deslizam sem qualquer dificuldade. Para os filamentos de alto desempenho verifica-se que no momento inicial (torção = 0) eles já possuem uma tenacidade significativa, a qual sofre um aumento com o incremento de torção até um instante denominado como “ponto ótimo”, a partir do qual a tenacidade tende a diminuir. Com relação ao alongamento observa-se que o fio de polietileno é o que se obteve os maiores valores (Figura 3-a), seguido do fio de algodão (Figura 3-d). Para os fios de carbono e aramida foram obtidos valores similares para a propriedade de alongamento à ruptura. Vale ressaltar ainda que os resultados de alongamento (%) no ponto de ruptura mostraram variações com o aumento da torção aplicada para todos os fios estudados.

De uma forma geral os monofilamentos que compõem um filamento contínuo não

são idênticos, possuindo variações significativas ao longo de sua distribuição. Isto é particularmente verdadeiro no ponto de ruptura, o qual pode ser determinado por um único ponto considerado fraco, em cada um dos filamentos. Em um fio com torção zero, ou seja, sem a coesão entre os monofilamentos, cada um deles rompem quando o seu próprio alongamento de ruptura é atingido e, de fato, a carga máxima não pode ocorrer até que alguns filamentos sejam rompidos. Os pontos de ruptura dos monofilamentos são distribuído ao longo do comprimento do fio. A introdução de torção altera a situação de duas maneiras: em primeiro lugar, introduz a coesão mútua entre os filamentos, impedindo o surgimento de pontos fracos no decorrer de seu comprimento. Desta forma, verifica-se que é um efeito de apoio mútuo que retarda a ocorrência de ruptura (aumentando a tenacidade), e assim eleva também o alongamento de ruptura; em segundo lugar, os monofilamentos externos tendem a se estender menos que os que se encontram no centro do filamento. Assim, o rompimento pode ser iniciado nos monofilamentos próximos do centro do fio. A extensão do rompimento do fio é, portanto, determinada pela extensão mínima de ruptura de alguns filamentos que estão próximos do centro do filamento. Ambos os efeitos anteriormente relatados podem explicar o motivo que leva o aumento da tenacidade e do alongamento máximo no ponto de ruptura a medida que se aumenta a torção utilizada. No entanto, este aumento deixará de acontecer quando a torção exceder um determinado valor, a partir do qual uma torção mais pronunciada diminui a resistência pela eclosão da ruptura de fibras. Estes resultados podem ser validados pela literatura, através dos estudos realizados com filamentos contínuos convencionais por Hearle e seus colaboradores, Hamburger, Maginnis e Grover and D. S. Hamby. (HEARLE; EL-BEHERY; THAKUR, 1959; MAGINNIS, 1950; HAMBURGER, 1948 E GROVER; HAMBY, 1956).

Ao se fazer uma comparação dos resultados de tenacidade no ponto ótimo de torção, para cada um dos filamentos estudados, verifica-se que a para-aramida é a que possui o maior valor, 176 cN/tex, seguido do filamento de carbono (max. 78 cN/tex), e de polietileno (max. 56 cN/tex). O fio de algodão estudado obteve os menores valores de tenacidade, sendo que na torção considerada ótima, foi obtido uma valor de 17 cN/tex. Estes valores podem ser melhor visualizados na figura 4.

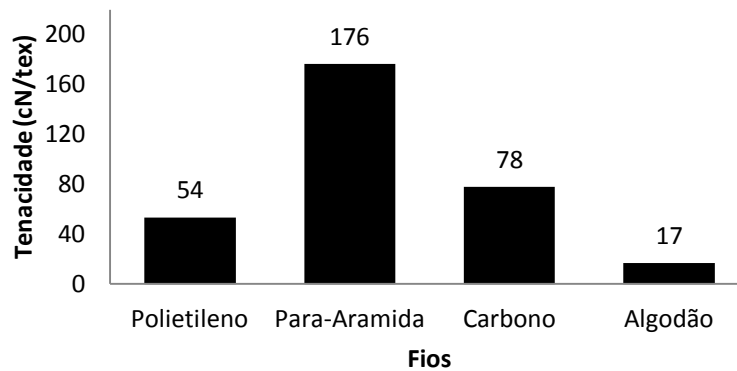


Figura 4 – Resultados comparativos dos valores de tenacidade no ponto ótimo de torção de cada um dos fios.

Conclusões

Com este estudo experimental concluiu-se inicialmente que os fios de polietileno, para-aramida, carbono e algodão possuem propriedades mecânicas completamente distintas.

Verificou-se que a torção possui influência significativa nas propriedades de tenacidade e alongamento dos fios em estudo. A torção ótima encontrada em cada um dos fios referidos, pode ser utilizada com o intuito de aumentar ainda mais o desempenho dos materiais fabricados a partir destes substratos têxteis.

Vale ressaltar ainda que a aplicação da torção realizada neste trabalho foi efetuada através de um torsiômetro, o qual não leva em consideração efeitos mecânicos muito importantes quando comparado com o processo de torção realizado industrialmente, como por exemplo: o contato permanente entre o viajante e o fio/filamento a ser torcido.

Por fim conclui-se que há ainda muito a ser analisado e compreendido sobre as propriedades mecânicas dos fios e filamentos contínuos. Este tema representa, sem dúvida alguma, um campo fascinante para ser explorado, com o propósito maior de se agregar valor e desenvolver novos materiais têxteis, apresentando soluções para as diversas áreas da engenharia.

Referências Bibliográficas

- BELINE, Juliana. **Fibras De Aramida e Sua Aplicação Na Confecção de Cabos Ópticos**. 1997, 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (tecnólogo em polimeros) Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba, 2012.
- BRUNO, Flavio da Silveira, ITMA 2011: reflections on the emergence of a new Brazilian textile industrial structure, **Redige**, p. 87-108, 2011.
- CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering**. Nova York: Ed. John Wiley & Sons. Inc, 1997.
- CAPPELLINI. Opinion on The Proposal for a Regulation on textile names and related labelling of textile products (INT/477), **European Economic and Social Committee**, adotada em: 16 Dezembro 2009.
- COUTINHO, F. M. B. et al. - Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 13, nº 1, p. 1-13, 2003.
- DESAI, Dinesh; JAIN, Kintu; SOLAMKI, Nirav. Industrial and Commercial Applications of Used Defense Technical Textiles Polymer Product Recycling. **MACROMOL. SYMPOSYA**, v. 320, p. 57–60, 2012.
- DETERESA, S. J. et al. Compressive and torsional behaviour of Kevlar 49 fibre, **Journal of Materials Science** v.19, p.57-72, 1984.
- GOOD, Irene. Textiles as a Medium of Exchange in Third Millennium B.C.E. Western Asia. **University of Hawai'i Press**, Honolulu. P. 191–214, 2006.
- GROVER, E. B.; HAMBY, D. S. **Textile processing of synthetics—continuous filament'**; School of Textiles, North Carolina State College, 1956, Appendix
- HAMBURGER, W. S. **Textile Research Journal**, v.18, p.105, 1948.
- HEARLE, J. W. S.; EL-BEHERY H. M. A. E.; THAKUR, V. M., The Mechanics Of Twisted Yarns : Tensile Properties Of Continuous-Filament Yarns, **Journal of the Textile Institute Transactions**, 50:1, p. 83-111, 1959.

HORROCKS A.R; ANAND S.C. Handbook of technical textiles. **Woodhead Publishing** – 2000.

KAUFMAN, J; KROSZNER, S. Opportunities Abound For Technical Textiles, Nonwovens/Technical Textiles. **Textiles Panamericanos**, 2007, consultado em 13/09/2013.

KHALIFA, Tamer F. Technical Textile. **Design & Methodology International Design Journal**, Vol.3, n.1 , p. 51-61.

LEBRAO, Guilherme Wolf. Fibra de Carbono. **Revista Plástico Sul**, outubro de 2008.

MAGINNIS, J. B. **Textile Research Journal**, v. 20, p.165, 1950.

MATSUO, Tatsuki. Advanced technical textile products, **Textile Progress**, V. 40, n. 3, p. 123-181, 2008.

MINYOUNG, Suh. Critical review on smart clothing product development. **TATM Journal of textile & apparel, technology & management**, 2010. Vol 6.

NOLLET. Supplementary Opinion on the Communication The future of the textiles and clothing sector in the enlarged European Union (CCMI/009), adotada em 7 Junho de 2004.

PAN, N.; HUA, T.; QIU, Y.: Relationship between fiber and yarn strength. **Textile Research Journal**. v. 71, n.11, p. 960–964, 2001.

PORWAL, Pankaj K.; BEYERLEIN, Irene J.; PHOENIX, Stuart Leigh. Statistical Strength Of Twisted Fiber Bundles With Load Sharing Controlled By Frictional Length Scales. **Journal Of Mechanics Of Materials And Structures** Vol. 2, No. 4, 2007

RIEWAD, P.G., NEMOURS, E.I. du Pont de. Performance Analysis Of An Aramid Mooring Line, **Offshore Technology Conference**, 1986

VASCONCELOS, Rosa Maria de Castro. **Contribuição à Aplicação de Técnicas de Inteligência Artificial na Tecnologia da Fiação**. 1993,151 f. Tese (Doutorado em Engenharia -Tecnologia e Química Têxtil -Especialidade em Tecnologia Têxtil. Universidade do Minho 1993.