



5º Congresso Científico Têxtil e Moda

24 a 28 de abril de 2017
Centro Universitário FEI - Campus São Paulo

DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURA DE MALHA POR TRAMA AUXÉTICA UTILIZANDO FIOS DE ELEVADO DESEMPENHO

Fernanda Steffens⁽¹⁾; Fernando Ribeiro Oliveira⁽¹⁾; Raul Fangueiro⁽²⁾

^(1,2)Professores; ⁽¹⁾Universidade Federal de Santa Catarina; Rua João Pessoa, 2750, Velha, Blumenau, SC; fernanda.steffens@ufsc.br; ⁽²⁾ Universidade do Minho, Campus de Azurém, Guimarães, Portugal.

Resumo

Neste trabalho foram desenvolvidas estruturas auxéticas através da tecnologia de malharia por trama utilizando fios de elevado desempenho: poliamida (PA) e para-aramida (p-AR). Para isso foi utilizado um tear retilíneo variando diferentes parâmetros estruturais (comprimento da laçada) e parâmetros do equipamento (como a tensão de puxamento da malha). O objetivo foi verificar qual a influência destes fatores sobre o efeito auxético das malhas desenvolvidas. Os resultados experimentais demonstraram que a alteração das propriedades supracitadas, juntamente com o tipo de substrato utilizado, apresenta uma grande influência no comportamento auxético das malhas de trama produzidas. As malhas de p-AR utilizando um maior comprimento de laçada e uma pequena tensão de puxamento apresentaram os valores mais elevados de coeficiente de Poisson negativo (CPN), -0.713. O potencial de estruturas de malha por trama utilizando fios de elevado desempenho apresentando efeito auxético é muito promissor para aplicações industriais, principalmente no segmento de proteção, onde o fator de impacto é um importante elemento a ser considerado.

Palavras-chave: Malhas por trama. Fibras de elevado desempenho. Coeficiente de Poisson negativo.

Área Temática: Tecnologia Têxtil

DEVELOPMENT OF WEFT-KNITTED AUXETIC STRUCTURE USING HIGH PERFORMANCE FIBRES

Abstract

The present work were development auxetic structures through weft knitting technology using high performance: Polyamide (PA) and para-aramid (p-AR) fibres. For this was used a flatbed knitting machine varying different parameters, such as structural (loop length) and machine parameters (such as take-down load). The objective was to identify the influence of these factors on the auxetic knitted developed. It was observed that NPR improved strongly with the increase in loop length of knitted structures.

The experimental results showed that the alteration of the above mentioned properties, together with the type of substrate used, has a great influence on the auxetic behavior of the weft-knitted fabric produced. The p-AR fabrics produced using lower loop length and lower take-down load resulted in the highest NPR of -0.713. Therefore, the developed knitted structures produced using high performance yarns and showing strong auxetic effects can have huge potential for industrial applications, especially in personal protection materials.

Key words: Weft-knitted fabric. High performance fibres. Negative Poisson ratio.



5º Congresso Científico Têxtil e Moda

24 a 28 de abril de 2017
Centro Universitário FEI - Campus São Paulo

1. Introdução

Materiais auxéticos são conhecidos por apresentarem coeficiente de Poisson negativo (- ν). Assim, quando tensionados, a sua seção transversal expande – ao contrário dos materiais convencionais, em que uma carga longitudinal provoca um alongamento nessa direção e uma redução da seção transversal.

Os materiais auxéticos apresentam algumas propriedades únicas quando comparados com os convencionais. Nestes materiais percebe-se claramente uma melhoria das seguintes propriedades mecânicas: aumento da resistência à fratura e maior resistência ao corte, maior dureza, variação da porosidade/permeabilidade (quando aplicado uma tensão)(Alderson, 2011) e capacidade de criar formas em dupla curvatura (Alderson & Alderson, 2005).

2. Problema de Pesquisa e Objetivo

O principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de malhas auxéticas utilizando fios de elevado desempenho e o estudo da influência de diferentes materiais, parâmetros estruturais e de máquina sobre a performance do efeito auxético sobre as malhas produzidas.

O desenvolvimento de estruturas de malha auxéticas poderá contribuir significativamente para aplicações onde a absorção de energia (impacto), é fator determinante, apresentando desempenho superior quando comparados aos seus similares convencionais.

3. Revisão Bibliográfica

Os materiais auxéticos foram descobertos há mais de 100 anos (Love, 1944). No entanto, estes materiais despertaram maior relevância nas últimas duas décadas (Lakes, 1987), quando a comparação entre materiais auxéticos e convencionais começou a ser intensamente explorada. Devido as suas características, materiais auxéticos podem ser utilizados em várias áreas, incluindo medicina, arquitetura, engenharia civil, vestuário esportivo, equipamentos de elevado desempenho, proteção contra explosivos, filtros, entre outros(Alderson & Alderson, 2005)(Liu, 2006)(Scarpa, 2008)(Alderson, 2011)(Wright, et al., 2012)(Pichandi, et al., 2014).

A produção deste tipo de materiais só se deu recentemente e está disponível, por enquanto, somente em pequena escala. Podem ser fabricados com base em diferentes tipos de materiais, incluindo fibras, espumas, polímeros, metais, cerâmica e compósitos (Alderson, 2011). A utilização da tecnologia têxtil e dos seus conceitos possui um grande potencial para o



5º Congresso Científico Têxtil e Moda

24 a 28 de abril de 2017
Centro Universitário FEI - Campus São Paulo

desenvolvimento de novas estruturas com propriedades auxéticas, o que pode gerar a criação de produtos inovadores e com alto valor agregado.

4. Metodologia

Malhas auxéticas foram produzidas a partir de fios de PA de elevado desempenho com densidade linear de 98.6 Tex composto por 140 monofilamentos e fios de p-AR com densidade linear de 88.5 Tex composto por 500 monofilamentos (Standard TWARON® 2000). Os fios de PA e p-AR foram fornecidos pelo grupo RODHIA (Portugal) e TEIJIN (Holanda), respectivamente. A Tabela 1 ilustra as principais propriedades dos fios utilizados neste estudo.

Tabela 1 – Propriedades dos fios de PA e p-AR

Propriedades	PA	p-AR
Densidade linear [tex]	98.60	88.50
Número de filamentos	140	500
Carga à tração [N]	76.57	172.00
Tenacidade [N/tex]	0.78	1.85
Módulo de elasticidade [N/tex]	1.89	44.65
Extensão na ruptura [%]	22.87	3.98
Carga à tração na forma de laçada [N]	105.09	225.20
Tenacidade na forma de laçada [gf/tex]	55.54	123.46

Desenvolvimento das estruturas de malha

As malhas foram produzidas em um tear retilíneo eletrônico da marca STOLL, modelo CMS 320 TC, largura nominal de 127cm que utiliza 2 sistemas de cames, especialmente adaptado para trabalhar com fibras de elevado desempenho. A malha é baseada em uma estrutura *purl* organizada em ziguezagues (como paralelogramas), com laçadas voltadas para o lado direito e avesso (Liu, et al., 2010). Após a produção, as estruturas têm a tendência de “enrolar” e formar uma geometria tridimensional. A Tabela 2 apresenta os diferentes parâmetros utilizados para a produção dos tecidos de malha.

Tabela 2 – Parâmetros usados no estudo do comportamento auxético

Comprimento da laçada (unidade de máquina)	Material	Tensão de puxamento (unidade de máquina)
10.0; 10.5; 11.0	PA	6.3; 7.7; 9.0
10.0; 10.5; 11.0	p-AR	6.3; 7.7; 9.0

Avaliação do coeficiente de Poisson

Após produzidas, as amostras de malha foram acondicionadas em condições atmosféricas controladas de temperatura $20^{\circ}\text{C}\pm 1$ e umidade $65\%\pm 2$. Para a avaliação do CPN um equipamento foi desenvolvido, conforme ilustrado na Figura 1-a. As amostras de malha foram marcadas em pontos específicos e estendidas na direção das fileiras (Figura 1-b). A partir das medições realizadas em cada nível de deformação (1 cm), é possível calcular o alongamento na direção das fileiras (ε_y) e das colunas (ε_x), conforme se verifica nas equações a seguir.

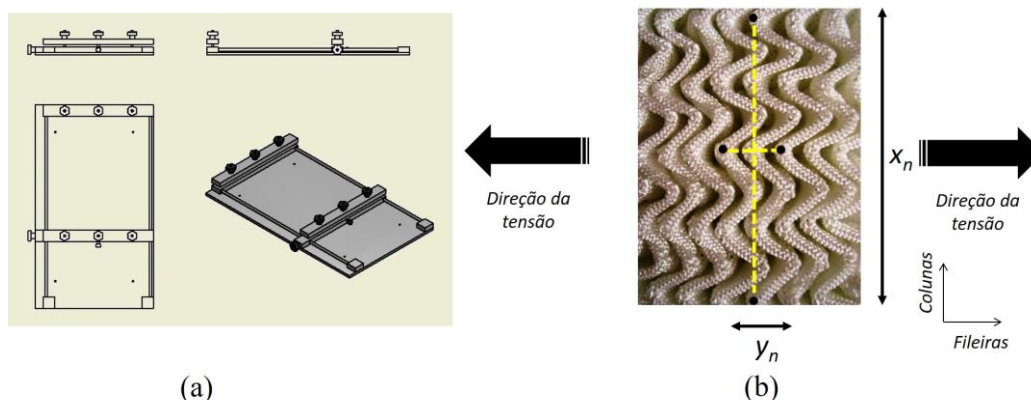
$$\varepsilon_x = \frac{x_n - x_0}{x_0} \quad (1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{y_n - y_0}{y_0} \quad (2)$$

Onde x_n corresponde à distância entre as marcações no sentido das colunas e y_n refere-se à distância entre as marcações no sentido das fileiras, consoante a cada intervalo de deformação. x_0 e y_0 são as distâncias iniciais entre as marcações, nas duas direções. Para cada grupo (PA e p-AR) foi calculado os valores para os alongamentos ε_x e ε_y e a seguir determinado o coeficiente de Poisson de cada ponto (Eq. 3). O valor máximo de CPN obtido durante o ciclo de deformação das malhas foi considerado e a seguir calculado a média destes valores para as 3 malhas produzidas de cada grupo.

$$\nu_{yx} = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \quad (3)$$

Figura 1 – Esquema para medição: Equipamento para medição (a), distância entre os pontos de marcação (b)



5. Análise dos Resultados

As médias de CPN para cada grupo de malha de PA e p-AR produzidos variando a comprimento da laçada e a tensão de puxamento estão listadas na Tabela 3. É possível verificar que o valor máximo obtido foi de -0.713 para malhas produzidas com fibras de p-AR.

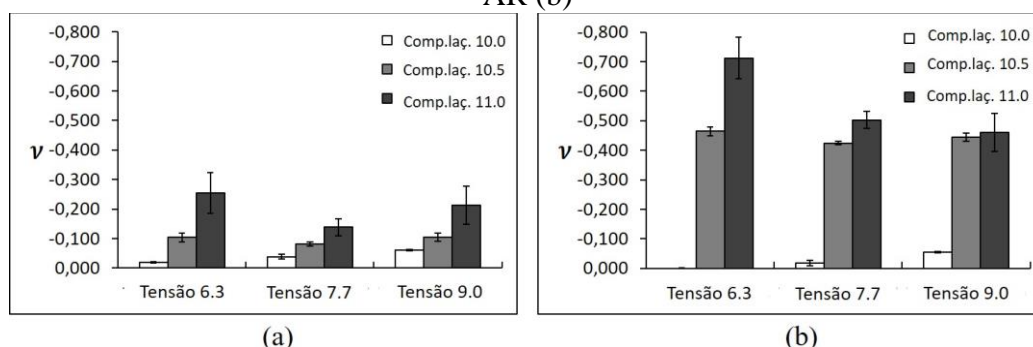
Tabela 3 – Média do CPN para malhas produzidas a partir de fios de PA, p-AR e sua combinação

Tipo de fibra	Tensão de puxamento	Comprimento de laçada 10.0	Comprimento de laçada 10.5	Comprimento de laçada 11.0
PA	6.3	-0.019	-0.103	-0.255
	7.7	-0.039	-0.081	-0.138
	9.0	-0.060	-0.105	-0.213
p-AR	6.3	-0.000	-0.464	-0.713
	7.7	-0.017	-0.424	-0.503
	9.0	-0.055	-0.444	-0.461

Influência do comprimento de laçada

Figura 2 ilustra a influência do comprimento de laçada no efeito auxético das estruturas de malha desenvolvidas com diferentes valores de tensão de puxamento. Conforme pode ser observado, o comprimento de laçada apresenta uma influência significativa sobre CPN. Para todas as amostras, conforme o comprimento da laçada aumenta, eleva-se também o efeito auxético.

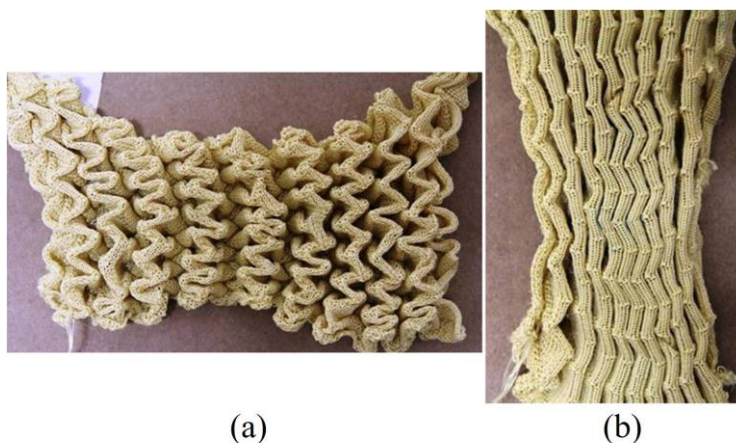
Figura 2–Influência do comprimento de laçada sobre o efeito auxético em malhas PA (a), p-AR (b)



Durante a deformação, as laçadas são tensionadas na direção da força aplicada. Entretanto, tratando-se de uma amostra com coeficiente de Poisson negativo, ocorrerá uma reorganização das laçadas e, portanto, além da mesma ser tensionada a favor da força aplicada, deformando-se, uma parte do seu comprimento expandirá transversalmente, dando origem ao

efeito auxético. Isto será mais evidente em comprimentos de laçada maiores. Ou seja, uma malha que apresente uma maior quantidade de fio numa laçada, além de estar mais contraída, irá resultar na possibilidade de mais material disponível ao longo da deformação (Figura 3-a). Já em malhas com laçadas menores, o nível de contração das malhas será muito menor e a maior parte do comprimento da laçada estará em função da tensão aplicada sobre a amostra, e pouco deste comprimento estará disponível para a amostra expandir transversalmente à aplicação da força (Figura 3-b).

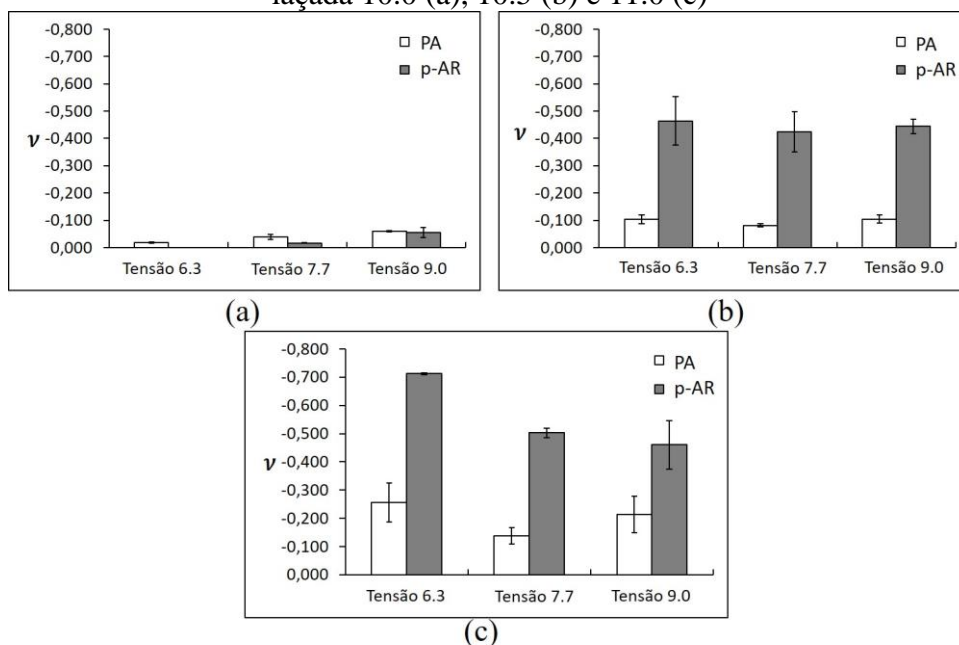
Figura 3 – Malhas auxéticas de p-AR com diferentes comprimentos de laçada: 11.0(a),10.0(b)



Influência do tipo de fibra

O tipo de fibra utilizado na produção dos tecidos de malha também apresentou significativa influência sobre o comportamento auxético. Para malhas mais apertadas, ou seja, com menor comprimento de laçada (10.0), o menor valor de CPN foi obtido para as malhas produzidas com p-AR (Figura 4-a). Tratando-se de malhas com comprimento de laçada maior (10.5 e 11.0), ocorreu o contrário, ou seja, as malhas produzidas com fio de p-AR foram as que apresentaram os maiores valores (-0.713) contra (-0.255) para a PA (Figura4-b e Figura4-c).

Figura 4 – Influência do tipo de fibra sobre o efeito auxético em malhas com comprimento de laçada 10.0 (a), 10.5 (b) e 11.0 (c)



Os resultados demonstram que a rigidez do fio tem grande influência sobre o efeito auxético em tecidos de malha, estando também relacionado com o do comprimento de laçada a ser produzido. Em malhas com comprimento de laçadas menores, a rigidez do fio tem influência negativa sobre o efeito auxético. De acordo com Cooper et al., em estruturas com elevada densidade, o movimento das fibras nos fios e dos fios na estrutura de malha pode ser bastante restrito (Cooper, 1960). Assim, em uma malha que apresente um pequeno comprimento de laçada e produzida com fio de p-AR, a mobilidade das laçadas durante a deformação é praticamente impossível, levando a ocorrência de um baixo valor de CPN. Já malhas produzidas com fios de PA, devido a sua maior flexibilidade, possibilitam uma maior mobilidade das laçadas, e conseqüentemente a um maior valor CPN. O uso de fios rígidos tem também influência sobre a uniformidade das laçadas com comprimentos maiores. Dias et al. verificaram que devido a tentativa de se obter equilíbrio entre as laçadas durante o processo de relaxamento das malhas, forças internas possibilitam a formação de uma maior deformação e encolhimento das malhas (Lau & Dias, 1994). Conseqüentemente, um maior efeito auxético será observado em malhas produzidas com fios mais rígidos e com maiores comprimentos de laçada, visto a maior possibilidade de deformação de acordo com a tensão aplicada. Durante a análise visual das malhas, estas afirmações foram verificadas e confirmadas.

Influência da tensão de puxamento

Analisando os resultados apresentados na Tabela 3 verifica-se que para malhas com comprimento de laçada 10.0, independente da matéria-prima, conforme eleva-se a tensão de puxamento, aumenta-se também o efeito auxético nas malhas. Para malhas com comprimento de laçada 10.5, o CPN inicialmente eleva-se, diminui e volta a elevar-se com aumento da tensão de puxamento.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos relativo a influência da tensão de puxamento para malhas com comprimento de laçada 11.0. Com o aumento do valor da tensão, verifica-se em todas as malhas um aumento gradativo do seu comprimento – embora este aumento seja mais acentuado para malhas de PA. Entretanto, no que se refere a largura, malhas de PA apresentam redução da sua largura com o aumento da tensão de puxamento (devido ao maior encolhimento destas malhas no sentido da largura após o relaxamento). Já em malhas de p-AR ocorre um aumento da largura com o aumento da tensão de puxamento, ou seja, encolhem menos nesta direção com o aumento da tensão de puxamento. As diferenças entre o encolhimento das malhas de PA na direção da largura, e as malhas de p-AR, para diferentes valores de tensão de puxamento, são decorrentes da diferença de rigidez entre os fios de PA e p-AR. Mesmo assim, para todas as malhas, conforme a tensão de puxamento diminui, maior é o efeito auxético.

Tabela 4 – Comparação entre o encolhimento de tecidos de malha com comprimento de laçada 11.0 produzidos com diferentes fibras e valores de tensão de puxamento

Tensão	PA			p-AR		
	Largura [cm]	Compr. [cm]	CPN	Largura [cm]	Compr. [cm]	CPN
6.3	14.50	7.35	-0.255	15.00	6.85	-0.713
7.7	12.50	9.75	-0.138	18.25	7.10	-0.503
9.0	12.00	10.50	-0.213	18.75	7.75	-0.461

6. Conclusão

Neste trabalho, malhas auxéticas utilizando a tecnologia de malharia por trama foram produzidas utilizando fibras de elevado desempenho, como PA e p-AR. Os resultados experimentais indicaram que os parâmetros estudados, como o comprimento da laçada, tipo de fibra e a tensão de puxamento apresentam elevada influência sobre o comportamento auxético das malhas. O maior valor de CPN obtido foi de -0.713 para a malha de p-AR com comprimento de laçada 11.0 e tensão de puxamento de 6.3.



5º Congresso Científico Têxtil e Moda

24 a 28 de abril de 2017
Centro Universitário FEI - Campus São Paulo

O presente estudo abre portas no desenvolvimento de malhas auxéticas utilizando fios de elevado desempenho para várias aplicações técnicas, como por exemplo, em coletes a prova de bala, capacetes, tecidos resistentes ao corte, entre outros, onde a proteção é um importante fator a ser considerado.

7. Referências

ALDERSON, A. Smart Solutions from Auxetic Materials. 2011.

ALDERSON, A. &ALDERSON, K. Expanding materials and applications: exploiting auxetic textiles. Technical Textiles International, September, pp. 29-33, 2005.

COOPER, D. N. E. 24 - The Stiffness of woven textiles. Journal of the Textile Institute Transactions, Volume 51, pp. T317-T335, 1960.

LAKES, R. S. Foam structures with a negative Poisson's ratio. Science, Volume 235, pp. 1038-1040, 1987.

LAU, K. W. & DIAS, T. Knittability of High-modulus Yarns. The Journal of The Textile Institute, Volume 85, pp. 173-190, 1994

LIU, Q. Literature Review: Materials with Negative Poisson's Ratios and Potential Applications to Aerospace and Defence - DSTO-GD-0472. s.l.:DSTO Defence Science and Technology Organisation, 2006.

LIU, Y. et al. Negative Poisson's Ratio Weft-knitted Fabrics. Textile Research Journal, pp. 856-863, 2010.

LOVE, A. E. H. A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity. New York: Dover Publications, 1944.

PICHANDI, S. et al. Development of novel auxetic structures based on braided composites. Materials and Design, Volume 61, pp. 286-295, 2014.

SCARPA, F. Auxetic Materials for Bioprostheses. IEEE Signal Processing Magazine, September, Volume 128, pp. 125-128, 2008.

WRIGHT, J. R. et al. On the design and characterisation of low-stiffness auxetic yarns and fabrics. Textile Research Journal, Volume 82, p. 645-654, 2012.

8. Agradecimentos

Agradecemos ao suporte financeiro da Fundação CAPES, Ministério da Educação, Caixa Postal 250, Brasília – DF 70040-020, Brasil, Bolsa de investigação com o seguinte número do processo: BEX 0978/12-4 e pela empresa TEIJIN, pelo fornecimento do fio TWARON®.