

Avaliação dos efeitos ambientais e da irradiação solar em tecidos de parapente: desempenho funcional e vida útil.

Antônio Luís Cardoso Neto  0000-0001-8277-2642

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, IP&D, UNIVAP, São José dos Campos, SP, Brasil.

Ivone Regina de Oliveira  0009-0009-2929-0711

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, IP&D, UNIVAP, São José dos Campos, SP, Brasil.

Paulo Henrique Salles de Carvalho  0000-0003-1376-0079

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, IP&D, UNIVAP, São José dos Campos, SP, Brasil.

RESUMO

Este estudo avaliou a degradação de tecidos de náilon ripstop resinados, empregados em parapentes, sob exposição solar em São José dos Campos (SP). Foram analisadas amostras com gramaturas de 29 e 40 g/m², em diversas cores, quanto à permeabilidade ao ar, resistência ao rasgo e estabilidade de cor em função do tempo de exposição. Observou-se uma redução significativa da permeabilidade ao ar entre 300 e 400 horas de exposição, além de maior sensibilidade à perda de resistência ao rasgo em tecidos de 29 g/m², enquanto os de 40 g/m² apresentaram desempenho superior. A variação de cor (ΔE) foi mais acentuada em tecidos de coloração clara de 29 g/m² e mais estável em cores escuras de 40 g/m². A reaplicação de resina de silicone, embora paliativa e benéfica para a permeabilidade ao ar em tecidos mais finos, apresentou impacto limitado ou até negativo na resistência mecânica. A proposição de um Índice de Desempenho Composto (IDC) confirmou a superioridade das amostras de 40 g/m², especialmente as amarelas, evidenciando a importância da escolha da gramatura, da cor e da orientação estrutural para otimizar o desempenho, a segurança e a longevidade de parapentes e veículos aéreos similares.

Palavras-chave: Parapente; paraglider; náilon ripstop resinado; segurança em voo livre.

Evaluation of environmental effects and solar irradiation on paraglider fabrics: functional performance and service life.

ABSTRACT

This study evaluated the degradation of resin ripstop nylon fabrics used in paragliders under sun exposure in São José dos Campos (SP), analyzing samples with fabric weight of 29 and 40 g/m² and various colors for air permeability, tear resistance and color stability as a function of exposure time. A significant reduction in air permeability was observed between 300 and 400 hours of exposure and greater sensitivity to loss of tear resistance in 29 g/m² fabrics, while 40 g/m² fabrics showed superior performance; color variation (ΔE) was more prominent in light-colored fabrics (29 g/m²) and more stable in dark colors (40 g/m²). The reapplication of silicone resin, although palliative and beneficial for air permeability in thinner fabrics, had a limited or negative impact on mechanical strength. The proposal of a Composite Performance Index (CPE) confirmed the superiority of the 40 g/m² samples, especially the yellow ones, highlighting the importance of selecting weight, color and structural orientation to optimize the performance, safety and longevity of paragliders and similar aerial vehicles.

Keywords: Parapente; paraglider; ripstop nylon; free flight safety.

Evaluación de los efectos medioambientales y de la irradiación solar en los tejidos de parapente: rendimiento funcional y vida útil.

RESUMO

En este estudio se evaluó la degradación de tejidos de nylon ripstop resinado utilizados en parapentes bajo exposición solar en São José dos Campos (SP), analizando muestras con gramajes de 29 y 40 g/m² y varios colores para determinar la permeabilidad al aire, la resistencia al desgarro y la estabilidad del color en función del tiempo de exposición. Se observó una reducción significativa de la permeabilidad al aire entre 300 y 400 horas de exposición y una mayor sensibilidad a la pérdida de resistencia al desgarro en los tejidos de 29 g/m², mientras que los tejidos de 40 g/m² mostraron un rendimiento superior; la variación del color (ΔE) fue más destacada en los tejidos de color claro (29 g/m²) y más estable en los colores oscuros (40 g/m²). La reaplicación de resina de silicona, aunque paliativa y beneficiosa para la permeabilidad al aire en los tejidos más finos, tuvo un impacto limitado o negativo en la resistencia mecánica. La propuesta de un Índice de Rendimiento Compuesto (CPE) confirmó la superioridad de las muestras de 40 g/m², especialmente las amarillas, destacando la importancia de seleccionar el peso, el color y la orientación estructural para optimizar el rendimiento, la seguridad y la longevidad de los parapentes y vehículos aéreos similares.

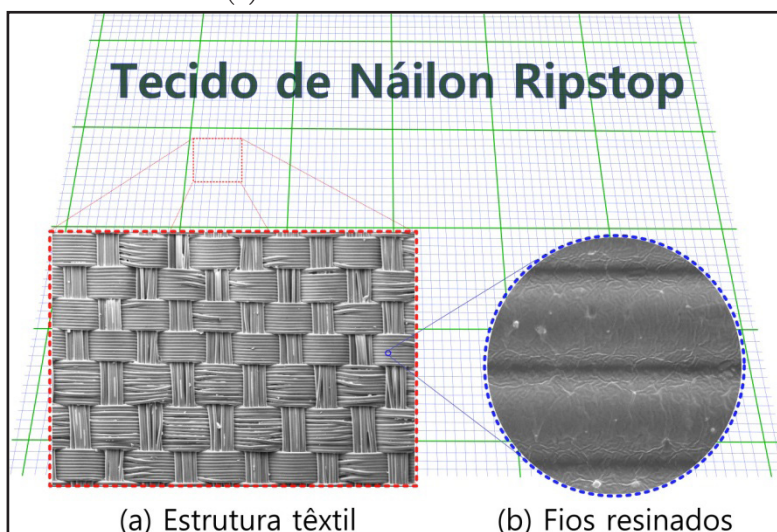
Palabras clave: Parapente; paraglider, nailon ripstop; seguridad en vuelo libre.



1 INTRODUÇÃO

A segurança e o desempenho de um parapente dependem diretamente das propriedades do tecido do velame (asa). Para isso, utilizam-se tecidos de poliamida (náilon), revestidos com poliuretano e silicone, conforme ilustrado na **Figura 1**. A seleção desses materiais poliméricos possibilita um design multicamadas que, combinado ao padrão de trama ripstop, confere propriedades funcionais essenciais para a fabricação de veículos aéreos.

Figura 1 – Esquema de engenharia do tecido técnico: (a) Estrutura têxtil e (b) Fios resinados.



Fonte: O autor, 2025.

O ripstop é caracterizado por uma malha de filamentos mais espessos, dispostos em forma de grade quadriculada. Essa configuração proporciona elevada resistência ao rasgo e inibe significativamente a sua propagação quando iniciada, contribuindo diretamente para a segurança e o desempenho do equipamento.

Apesar das características resistentes do velame às intempéries, a exposição prolongada à radiação ultravioleta (UV) provoca degradação acentuada das propriedades mecânicas do tecido (Mašlanka et al., 2023, p. 19). Essa constatação é corroborada por Mengüç *et al.* (2018, p. 381, 388), que investigaram a fotodegradação das fibras de tecidos utilizados em parapentes, e observaram que o processo afeta tanto o corante quanto a estrutura macromolecular da fibra, resultando em perdas substanciais de desempenho mecânico.

As consequências dessa degradação manifestam-se em alterações de propriedades críticas, como a redução da resistência ao rasgo e o desbotamento da cor, sendo este último um indicativo visual relevante da perda de propriedades mecânicas (Moezzi *et al.*, 2015, p. 1). Ademais, conforme relatado por Mengüç *et al.* (2018, p. 381, 383), a degradação foto-oxidativa, impulsionada pela radiação UV em conjunto com a presença de oxigênio e luz, contribui de forma significativa para a deterioração estrutural dos polímeros têxteis.



Neste contexto, o presente estudo busca aprofundar a compreensão dos processos de degradação em tecidos utilizados na fabricação de parapentes, com ênfase no náilon ripstop. Pretende-se investigar como fatores ambientais e características intrínsecas do material influenciam seu desempenho ao longo do tempo.

A pesquisa concentrou-se nos efeitos do tempo de exposição à irradiação solar, da gramatura e da cor sobre a permeabilidade ao ar e a resistência ao rasgo em amostras de tecidos.

Considerando que propriedades como a permeabilidade ao ar e a rigidez superficial impactam diretamente o comportamento aerodinâmico das asas de parapentes (Mašlanka *et al.*, 2019, p. 78), o estudo também buscou correlacionar essas características à degradação funcional dos tecidos.

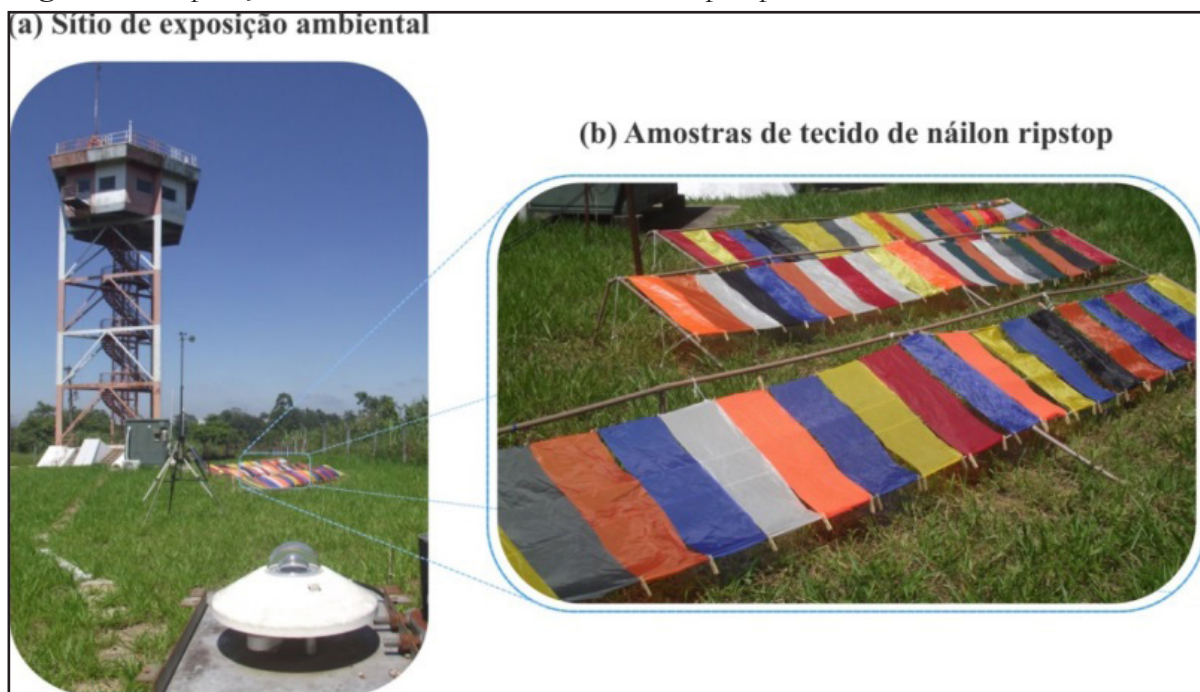
Essa abordagem visou contribuir para o desenvolvimento de estratégias aprimoradas de fabricação, inspeção e manutenção preventiva dos equipamentos. Ademais, os resultados obtidos indicaram caminhos para a evolução de sistemas como o Durable Light System (DLS), com vistas à melhoria da segurança, do desempenho e da durabilidade não apenas dos parapentes, mas também de outros veículos aéreos que empregam tecidos técnicos em ambientes expostos à irradiação solar.

2 METODOLOGIA

2.1 Amostras de tecidos de Náilon Ripstop resinado

Os ensaios experimentais foram realizados com tecidos novos de náilon ripstop resinados com poliuretano e silicone. As amostras apresentaram gramaturas de 29 g/m² e 40 g/m², e incluíram uma ampla variedade de cores: amarelo, azul, branco, cinza, laranja, preto, verde e vermelho, conforme ilustrado na **Figura 2**.

Figura 2 – Exposição controlada de tecidos de náilon ripstop resinados.

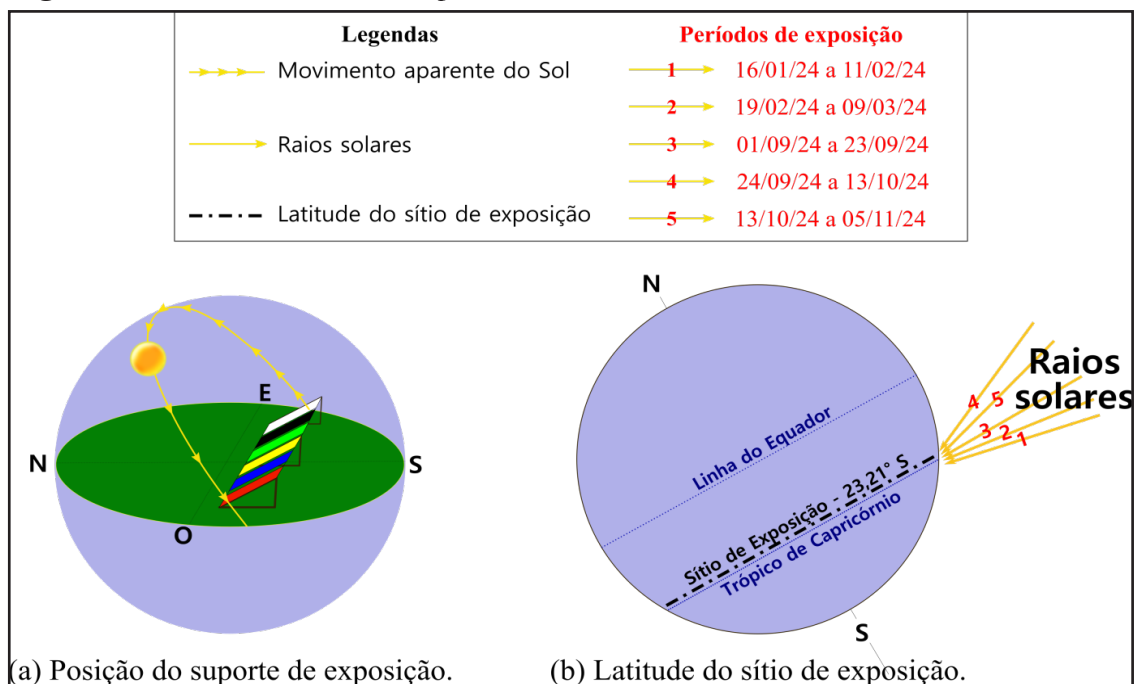


Fonte: O autor, 2025.

2.2 Exposição das amostras de tecido

A exposição solar das amostras foi conduzida em São José dos Campos, São Paulo, em dias ensolarados ou com baixa nebulosidade, no período das 9h às 16h (horário local). O expositor teve sua face orientada para o norte, conforme ilustrado na **Figura 3**, e foi ajustado com inclinação equivalente à latitude geográfica do local, visando otimizar a captação da irradiação solar incidente.

Figura 3 – Detalhes do sítio de exposição.

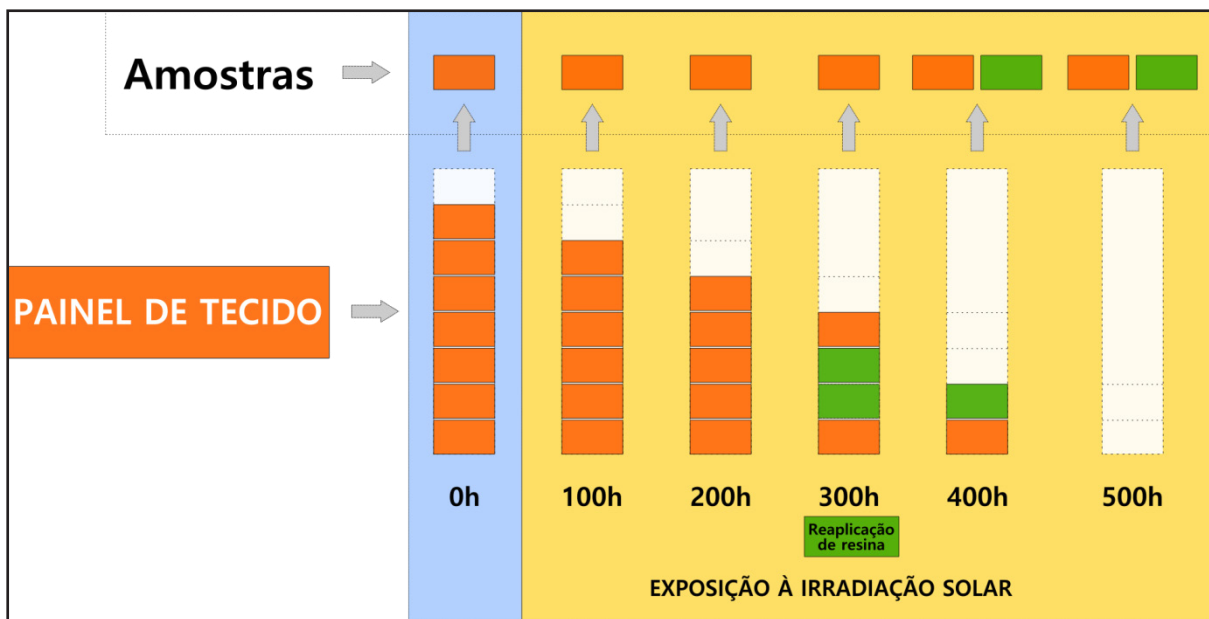


Fonte: O autor, 2025.

As amostras foram submetidas à irradiação solar em ambiente externo durante os períodos de primavera e verão, seguindo um protocolo destinado a simular condições de exposição intensificada. O monitoramento contínuo da irradiação solar incidente foi realizado com um radiômetro modelo CMP6-Vaisala (VAISALA®, 2024), capaz de medir a irradiação solar global na faixa espectral de 285 a 2800 nm. Concomitantemente, corpos de prova foram coletados aleatoriamente em quantidades suficientes para garantir a representatividade estatística e a conformidade com as normas de aquisição de dados, conforme ilustrado no esquema na **Figura 4**.



Figura 4 – Esquema de coleta de amostras durante exposição.



Fonte: O autor, 2025.

2.3 Métodos de Ensaio e Variáveis AVALIADAS

As medidas de permeabilidade ao ar e de resistência ao rasgo seguiram as diretrizes estabelecidas pela norma DRAFT PMA (Paragliding Manufacturers Association, 2024).

As determinações da força de rasgamento foram realizadas com base na norma NBR ISO 13937-2 (Têxteis — Propriedades de rasgamento de tecidos — Parte 2: Determinação da força de rasgamento de amostras em forma de calça de ensaio simples).

A solidez da cor à luz solar (ΔE) foi determinada conforme a norma NBR ISO 105-J01 (Têxteis — Ensaio de solidez da cor — Parte J01: Solidez da cor à luz do dia).

As variáveis avaliadas para estabelecer correlações e padrões de degradação foram:

- Tempo de exposição controlada (h) com as amostras de tecido expostas nos tempos aproximados de: 0 (controle), 100, 200, 300, 400 e 500 horas.
- Gramatura do tecido (g/m^2) com valores fixos: $29 \text{ g}/\text{m}^2$ (leve) e $40 \text{ g}/\text{m}^2$ (espesso).
- Solidez da cor (ΔE): medidas obtidas por colorimetria no sistema CIE Lab.
- Permeabilidade ao ar, em $L_{\text{ar}}/\text{m}^2/\text{min}$: variável inversamente proporcional ao desempenho aerodinâmico (menores valores indicam melhor desempenho).
- Resistência ao rasgo (Bettsometer), em daN: variável diretamente proporcional ao desempenho estrutural (maiores valores indicam melhor desempenho).
- Força de rasgamento (trama e urdume), em daN: variável diretamente proporcional ao desempenho (valores maiores indicam melhor desempenho).

Priorizou-se a avaliação da fotodegradação, isolando o efeito da irradiação solar sem a utilização de métodos de simulação de dano por flexão. Essa abordagem metodológica justifica-se pela contribuição significativa da flexão - resultante de fadiga por uso repetitivo, dobragens, transporte e armazenamento - para a degradação, especialmente quanto à permeabilidade ao ar, conforme evidenciado por Mašlanka *et al.* (2023, p. 2, 10). Para tanto, as amostras de tecido foram retiradas diariamente, manuseadas com cuidado para evitar dobras e armazenadas em uma caixa forrada internamente com tecido de algodão, com o objetivo de protegê-las da exposição à luz artificial até a exposição subsequente e a realização das análises.

2.4 Análise Estatística

Um Índice de Desempenho Composto (IDC) foi desenvolvido para avaliar de forma integrada o desempenho global das amostras de tecidos de náilon ripstop submetidas à exposição solar controlada. Esse índice foi calculado a partir da normalização de variáveis quantitativas essenciais para a segurança e o desempenho estrutural do material, incluindo a permeabilidade ao ar, as medições de resistência ao rasgo obtidas pelo Bettsometer (PMA Research Paper, 2024), e as medições de força de rasgamento no sentido perpendicular à trama e ao urdume, conforme a norma ABNT NBR ISO 13937-2.

Para cada intervalo de exposição solar calculou-se o IDC individualmente por cor e gramatura. A média dos valores de IDC obtidos para cada amostra ao longo do tempo resultou no Score Médio (SM).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os dados coletados, as caracterizações obtidas por meio dos testes de permeabilidade ao ar, resistência ao rasgo, força de rasgamento e a solidez da cor, bem como os principais resultados da pesquisa.

3.1 Condições de Exposição Solar e Comparação com Cenários Reais

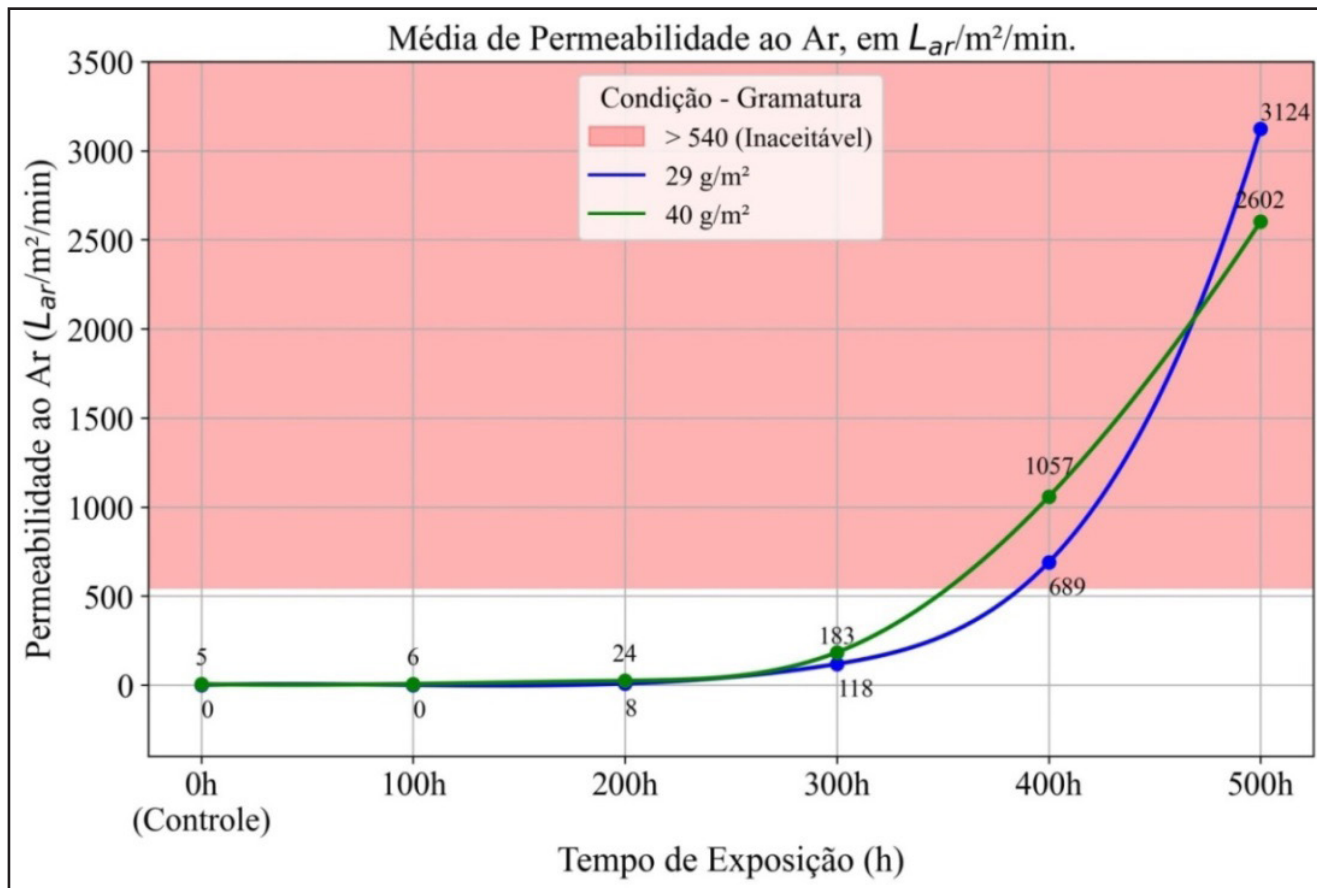
Durante o período experimental, as amostras foram submetidas a 480 horas e 26 minutos de exposição direta à radiação solar, atingindo um acumulado energético de 1276,6 MJ/m². Esse protocolo de exposição resultou em uma condição significativamente mais intensa em comparação aos cenários de uso real dos equipamentos. Conforme entrevistas semiestruturadas realizadas com pilotos de parapente da região, a exposição solar dos equipamentos, em condições reais de uso, é estimada entre 30 e 75 horas por ano, com um acumulado anual de energia incidente variando de 17,2 a 43,3 MJ/m². Essa intensificação das condições de exposição no sítio experimental possibilita a aceleração dos ensaios, permitindo a observação de efeitos de degradação em menor tempo e simulando o envelhecimento acelerado do material.



3.2 Permeabilidade ao Ar

As medições de permeabilidade ao ar, realizadas a cada 100 horas de exposição, indicaram que o intervalo entre 300 e 400 horas correspondeu a uma fase de degradação acelerada dessa propriedade, conforme ilustrado na **Figura 5**. Nesse período, os valores de permeabilidade atingiram níveis considerados inadequados para o desempenho de asas de parapente.

Figura 5 – Permeabilidade ao ar das amostras de tecidos de náilon ripstop resinado, em função do tempo de exposição.



Fonte: O autor, 2025.

A degradação acelerada da permeabilidade ao ar a partir de 300 horas de exposição solar é reconhecida, visto que a exposição prolongada à radiação UV causa a remoção de átomos das cadeias poliméricas, ocasionando o rompimento das macromoléculas, despolimerização, degradação química ou fotodegradação, e consequente perda da estabilidade estrutural dos materiais (Amza *et al.*, 2021, p. 2; Kalwik, 2023, p. 1519).

A similaridade no comportamento da permeabilidade ao ar em tecidos de 29 e 40 g/m² sugere que essa propriedade é mais influenciada pela degradação da própria estrutura do polímero induzida pela radiação luminosa, independentemente da espessura do tecido.

Entretanto, outro fator relevante para a degradação da permeabilidade ao ar é a flexão mecânica. Estudos de Mašlanka *et al.* (2023, p. 10) evidenciaram que o “*flexing damage*” exerce papel preponderante no aumento da permeabilidade em tecidos técnicos de parapente. Esse resultado aponta, portanto, para a necessidade de investigações complementares, a fim de elucidar a interação entre fatores mecânicos, ambientais e de manuseio no processo de degradação dessa propriedade crítica para o desempenho do velame.

Em relação à avaliação da coloração dos tecidos, observaram-se alterações distintas associadas à degradação da permeabilidade ao ar, conforme apresentado na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Permeabilidade média ao ar, em $L_{ar}/m^2/min$, das amostras de tecidos de náilon ripstop expostos à irradiação solar. São José dos Campos/SP - 2024.

Cor do Tecido	Gramatura (g/m ²)	0h (Controle)	100h	200h	300h	400h	500h
Amarelo	29	0	0	8	62	600	2700
Azul	29	0	0	21	318	1350	5400
Branco	29	0	0	6	123	900	5400
Laranja	29	0	0	1	21	208	771
Vermelho	29	0	0	5	65	386	1350
Amarelo	40	0	0	3	17	123	491
Azul	40	1	1	13	150	1800	5400
Branco	40	2	4	38	720	1800	5400
Cinza	40	1	2	35	470	2700	5400
Laranja	40	0	0	3	65	675	2700
Preto	40	0	0	2	25	245	675
Verde	40	0	0	1	9	40	78
Vermelho	40	0	0	0	4	174	675

Fonte: O autor, 2025.

Nota: Condições de uso conforme as diretrizes da norma **DRAFT PMA** (PMA Research Paper, 2024).

(a) Bom: permeabilidade inferior a $360 L_{ar}/m^2/min$ – (> 15s).

(b) Aceitável: permeabilidade entre 361 e $539 L_{ar}/m^2/min$ – (Entre 10 e 15s).

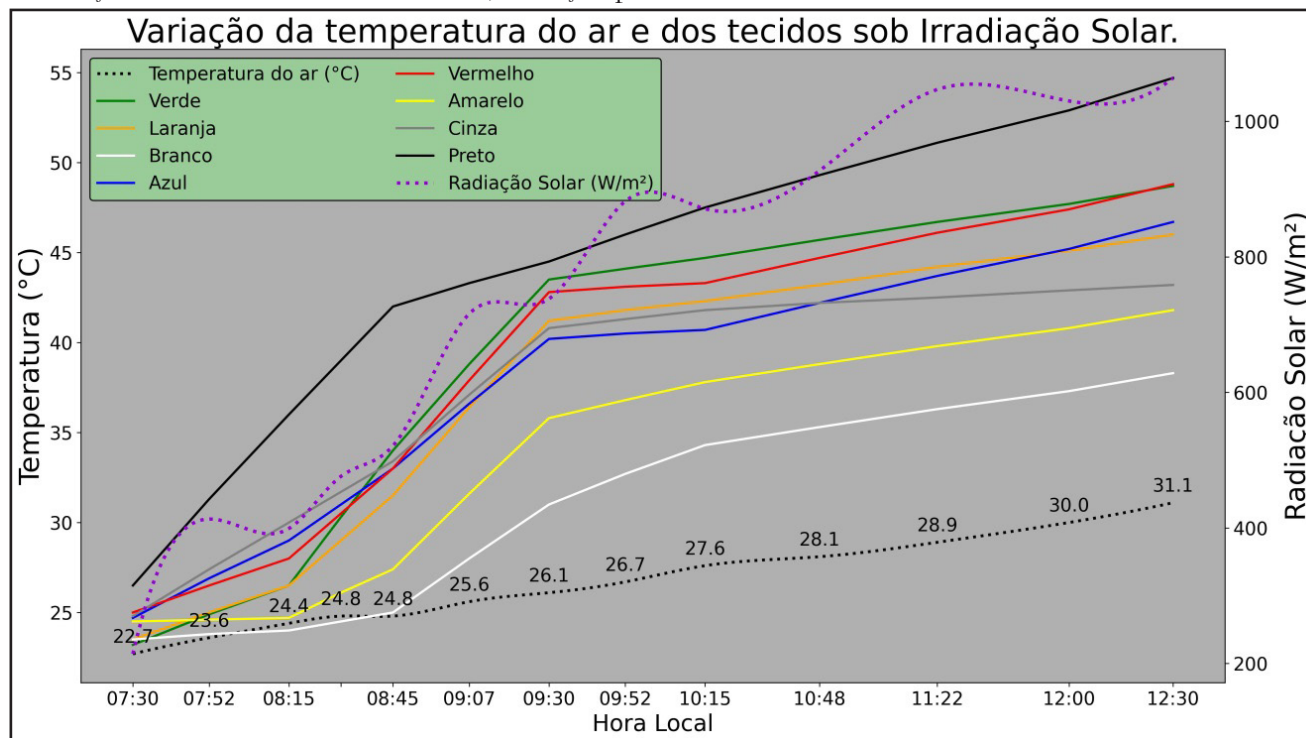
(c) Inaceitável: permeabilidade superior a $540 L_{ar}/m^2/min$ – (< 10s).

As variações na degradação da permeabilidade ao ar indicaram que a cor do tecido exerce influencia significativa sobre essa propriedade, não de forma direta, mas em decorrência dos efeitos fotodegradativos resultantes da exposição à irradiação solar.

A coloração, incorporada à trama por meio do tingimento, afeta a absorção da radiação visível, conforme ilustrado na **Figura 6**, ocasionando diferentes elevações de temperatura entre tecidos de distintas cores. Esse aquecimento diferencial desencadeia ciclos sucessivos de dilatação e contração térmica, gerando fadiga mecânica diferencial entre os constituintes do tecido (Oliveira, 2009, p. 25). Tal fenômeno compromete a aderência da resina à estrutura da trama e, somado à sua degradação fotoinduzida, contribui para o aumento da permeabilidade ao ar ao longo do tempo de exposição.



Figura 6 – Estudo exploratório da influência da cor na resposta térmica de tecidos (40 g/m^2) expostos à irradiação solar matutina sob céu claro, medição pontual em 08/02/2024.



Fonte: O autor, 2025.

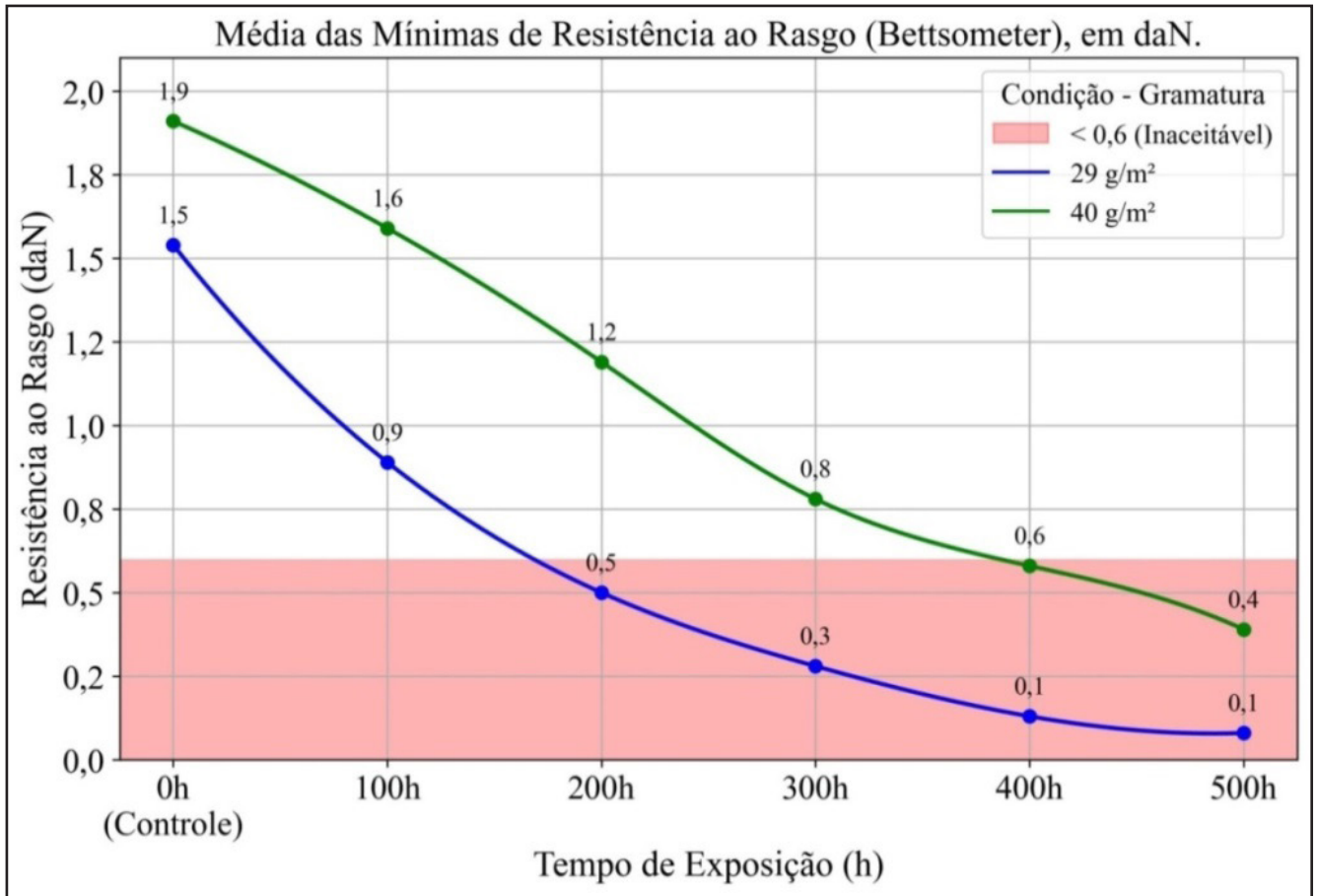
3.3 Resistência ao Rasgo

A avaliação da resistência ao rasgo em tecidos de náilon ripstop resinado indica diferenças significativas com base na gramatura do tecido, conforme ilustrado na **Figura 7**.

Os resultados de resistência ao rasgo reiteram que tecidos de maior gramatura apresentam desempenho superior nesse aspecto em comparação aos mais leves. No entanto, tecidos de menor gramatura podem oferecer vantagens em termos de peso e flexibilidade, o que os tornam atrativos em aplicações específicas nas quais o volume de armazenamento e a massa transportada são fatores prioritários. Como destacam Phiri *et al.* (2024, p.2), “os materiais leves são impulsionados pela motivação de reduzir peso, aumentar a portabilidade e, potencialmente, diminuir custos”, o que ressalta a importância de se buscar um equilíbrio entre resistência mecânica e leveza.

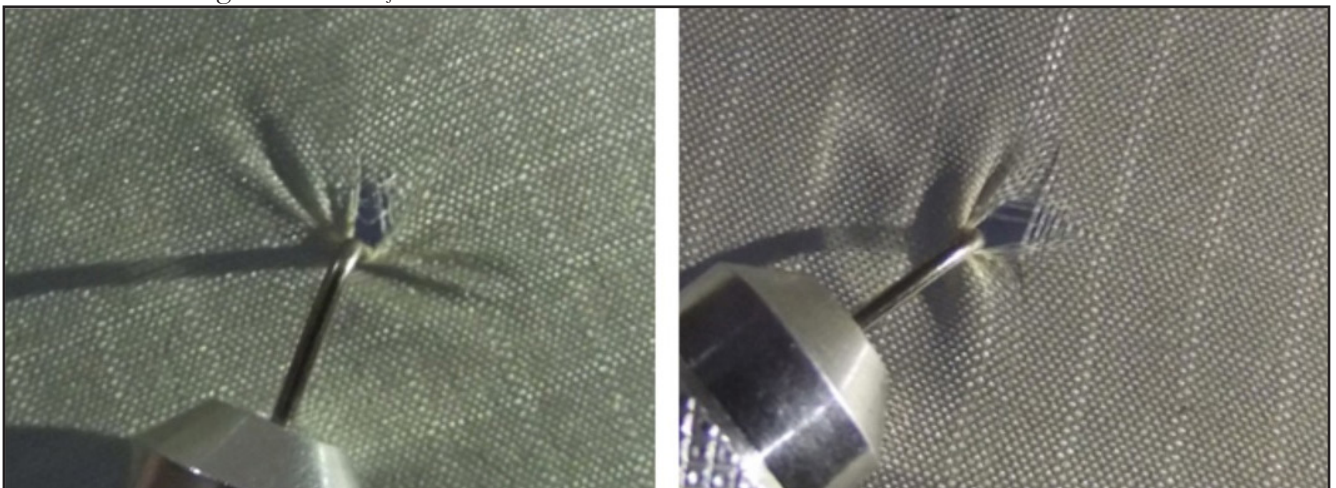
Ainda no contexto da resistência ao rasgo, merece destaque o destravamento progressivo dos fios, provocado pela perda de adesão e pela degradação da resina, o que resulta em maior mobilidade estrutural. Essa maior liberdade de movimento permite que os fios se agrupem durante o ensaio de resistência ao rasgo, especificamente na região da agulha de medição, conforme indicado por Mengüç *et al.* (2018, p. 387): “os fios podem agrupar-se por movimento durante o teste de rasgo, formando um ‘delta’ na agulha de medição” (**Figura 8**). No entanto, esse comportamento representa uma inconsistência no método de medição, pois pode superestimar os valores de resistência ao rasgo, distorcendo a avaliação da degradação intrínseca do tecido.

Figura 7 – Resistência ao rasgo das amostras de tecidos de náilon ripstop resinado, em função do tempo de exposição.



Fonte: O autor, 2025.

Figura 8 – Imagens de rupturas de corpos de provas durante testes de resistência ao rasgo (Betsometer) e formação do ‘delta – Δ’ na agulha de medição.



Fonte: O autor, 2025.



Em função da coloração do tecido, verificam-se variações na resistência ao rasgo, o que indica a influência direta dessa característica sobre a integridade mecânica do material. Ademais, a gramatura mostra-se um fator determinante para esse desempenho, sendo observado menor rendimento nos tecidos de 29 g/m² em relação àqueles de 40 g/m², conforme apresentado na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Resistência média ao rasgo (Bettsometer), em daN, das amostras de tecidos de náilon ripstopresinado expostos à irradiação solar. São José dos Campos/SP - 2024.

Cor do Tecido	Gramatura (g/m ²)	0h					
		(Controle)	100h	200h	300h	400h	500h
Amarelo	29	1,31	0,91	0,56	0,33	0,16	0,11
Azul	29	1,63	0,90	0,52	0,30	0,14	0,08
Branco	29	1,66	1,14	0,60	0,41	0,25	0,11
Laranja	29	1,81	0,86	0,43	0,22	0,11	0,08
Vermelho	29	1,28	0,65	0,39	0,19	0,08	0,05
Amarelo	40	2,08	1,93	1,66	0,99	0,64	0,45
Azul	40	1,92	1,39	0,93	0,80	0,67	0,41
Branco	40	2,49	2,21	1,98	0,99	0,70	0,58
Cinza	40	1,54	1,42	1,09	0,84	0,61	0,44
Laranja	40	1,86	1,56	0,98	0,70	0,54	0,34
Preto	40	1,48	1,39	0,88	0,67	0,57	0,35
Verde	40	1,62	1,54	1,15	0,66	0,56	0,39
Vermelho	40	2,27	1,28	0,84	0,55	0,31	0,19

Fonte: O autor, 2025.

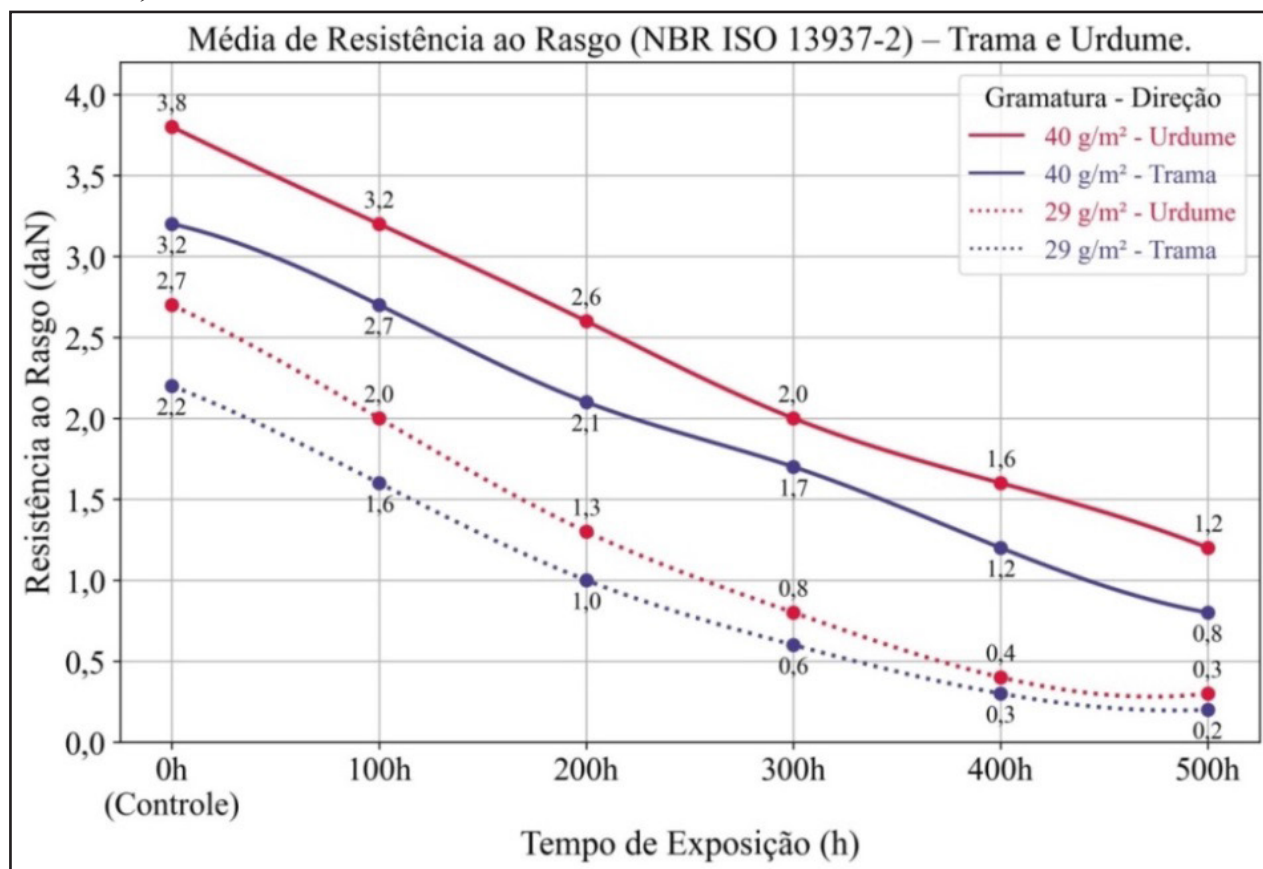
Nota: Condições de uso conforme as diretrizes da norma DRAFT PMA (PMA Research Paper, 2024).

- (a) Bom:** resistência ao rasgo superior a 0,7 daN – (> 700 gf).
- (b) Aceitável:** resistência ao rasgo entre 0,6 e 0,7 daN – (Entre 600 e 700 gf).
- (c) Inaceitável:** resistência ao rasgo inferior a 0,6 daN – (< 600 gf).

3.4 FORÇA DE RASGAMENTO (urdume e trama)

A avaliação da força de rasgamento evidenciou maior resistência na direção perpendicular ao urdume, geralmente atribuída à maior espessura dos fios, conforme ilustrado na **Figura 9**.

Figura 9 – Resistência média de rasgamento das amostras de tecidos de náilon ripstop resinados, na trama e no urdume, conforme NBR ISO 13937-2.



Fonte: O autor, 2025.

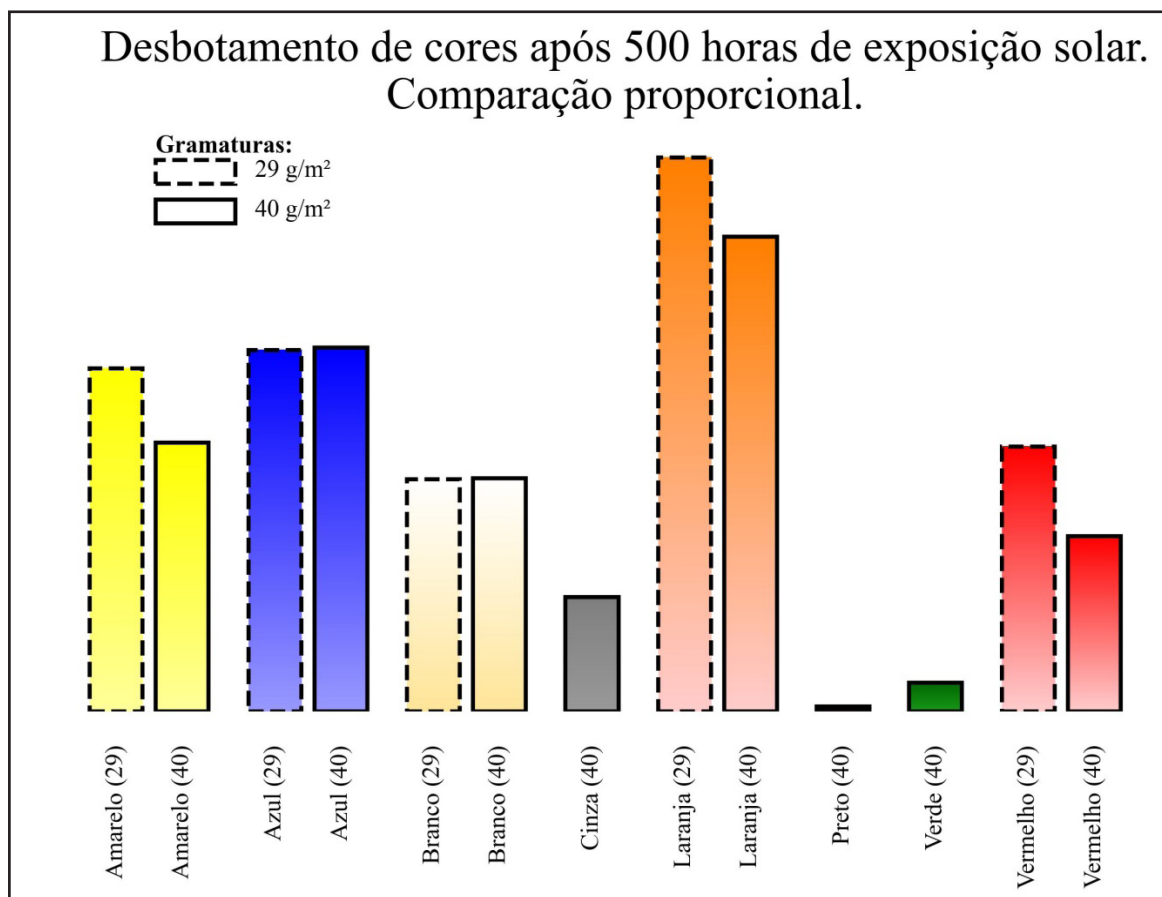
Essa diferença de desempenho ressalta a importância de considerar a orientação dos tecidos no projeto das partes do velame que envolvem esforços direcionais.

3.5 Solidez da Cor (ΔE)

A avaliação da solidez da cor dos tecidos, após aproximadamente 500 horas de exposição à irradiação solar, evidenciou variações significativas na perda de intensidade cromática e nos efeitos visuais de desbotamento, conforme ilustrado na **Figura 10**.



Figura 10 – Comparação do desbotamento dos tecidos (29 g/m² e 40 g/m²) após ~500 horas de exposição solar.



Fonte: O autor, 2025.

A variação perceptível da cor (ΔE) resulta da degradação fotoquímica dos polímeros, processo amplamente estudado por Kämpf (1990, p. 1–5, 18–20) e por Marek *et al.* (1965, p. 481–484), condicionado tanto pela estrutura do material quanto pelo tipo de corante. Esse fenômeno é evidenciado pela maior suscetibilidade da cor laranja e pelo desempenho superior de tonalidades como cinza, verde e preto em tecidos de 40 g/m².

Nos tecidos brancos, destaca-se a maior facilidade de visualização do amarelamento, associado à formação de compostos dicarbonílicos durante a fotodegradação. Segundo Marek e Lerch (1965, p. 481), “compostos dicarbonílicos [...] podem ser considerados intermediários no amarelamento de poliamidas fotodegradadas”. O poliuretano, constituinte da resina de impermeabilização do tecido, também é suscetível à formação desses compostos.

Cabe enfatizar, adicionalmente, que a estabilidade da cor não pode ser dissociada de uma complexa interação de fatores, incluindo a composição do substrato têxtil, a presença de aditivos específicos, a natureza química dos corantes empregados e as condições ambientais de exposição, notadamente a umidade relativa, a temperatura e o espectro da irradiação solar incidente. Esses elementos, de maneira sinérgica, determinam a longevidade funcional e estética dos materiais têxteis (Eames, 2023, p. 2; Guan *et al.*, 2023, p. 2-4).

Apesar dessas vulnerabilidades, avanços recentes em corantes, modificações químicas e acabamentos funcionais — como o uso de nanopartículas — têm ampliado as possibilidades de melhoria da estabilidade cromática, mesmo em tecidos tradicionalmente mais sensíveis (Liu, 2018, p. 81-82).

3.6 Ranqueamento de tecidos de náilon ripstop resinado

As amostras foram classificadas em ordem decrescente de acordo com os respectivos Índices de Desempenho Composto (IDC), conforme apresentado na **Tabela 3**.

Tabela 3 – Ranking e Score Médio (SM) de desempenho técnico das amostras de tecido de náilon ripstop resinado, por cor e gramatura.

Ranking	Cor do Tecido	Gramatura (g/m ²)	Score Médio (SM)
1	Amarelo	40	0,85
2	Verde	40	0,73
3	Branco	40	0,73
4	Preto	40	0,69
5	Laranja	40	0,68
6	Cinza	40	0,58
7	Vermelho	40	0,55
8	Azul	40	0,55
9	Laranja	29	0,33
10	Branco	29	0,30
11	Amarelo	29	0,28
12	Vermelho	29	0,23
13	Azul	29	0,22

Fonte: O autor, 2025.

O Score Médio (SM) e o ranqueamento das amostras evidenciam que a gramatura de 40 g/m² proporciona desempenho e durabilidade significativamente superiores em condições de exposição similares em ambiente à irradiação solar. A amostra amarela de 40 g/m² destacou-se como a de melhor desempenho no conjunto de propriedades avaliadas: permeabilidade ao ar, resistência ao rasgo pelo método do Bettometer e maiores forças de rasgamento nos sentidos perpendicular à trama e ao urdume. Por outro lado, os tecidos de 29 g/m² devem ser destinados a contextos de menor exigência mecânica ou de exposição mais curta (até cerca de 200–300 horas), devido à ocorrência antecipada de perdas de desempenho em comparação aos de 40 g/m².

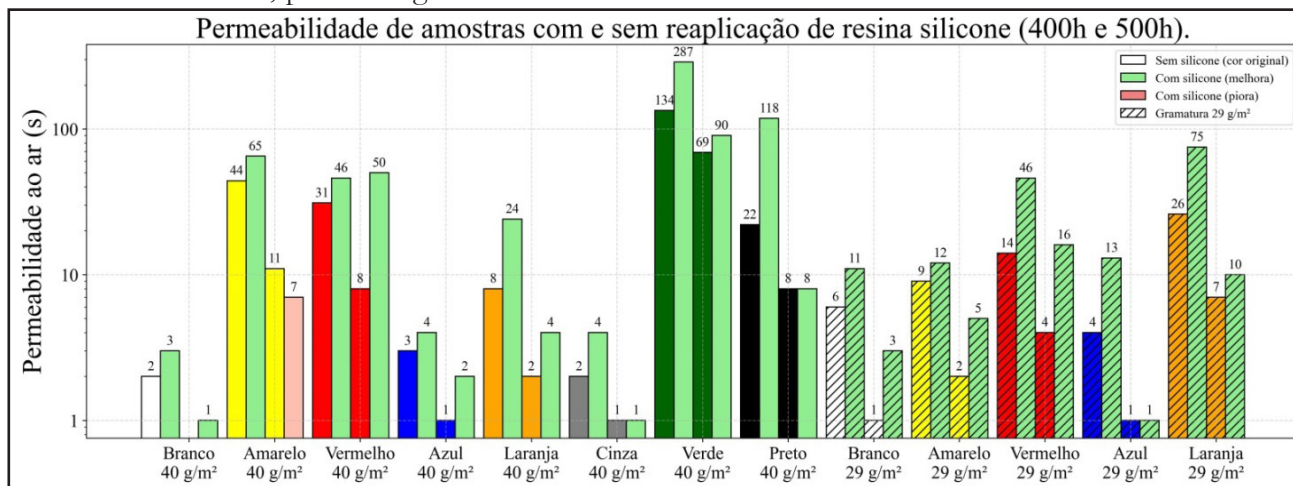


3.7 Potencial da reaplicação de resina silicone

Com o intuito de avaliar o potencial da reaplicação de resina de silicone, esta foi aplicada novamente às amostras de tecido após 300 horas de exposição à radiação solar. A partir desse ponto, foram realizadas coletas de dados nas 400 h e 500 h de exposição, com o objetivo de verificar o desempenho dos parâmetros de permeabilidade ao ar e resistência ao rasgo após a reaplicação.

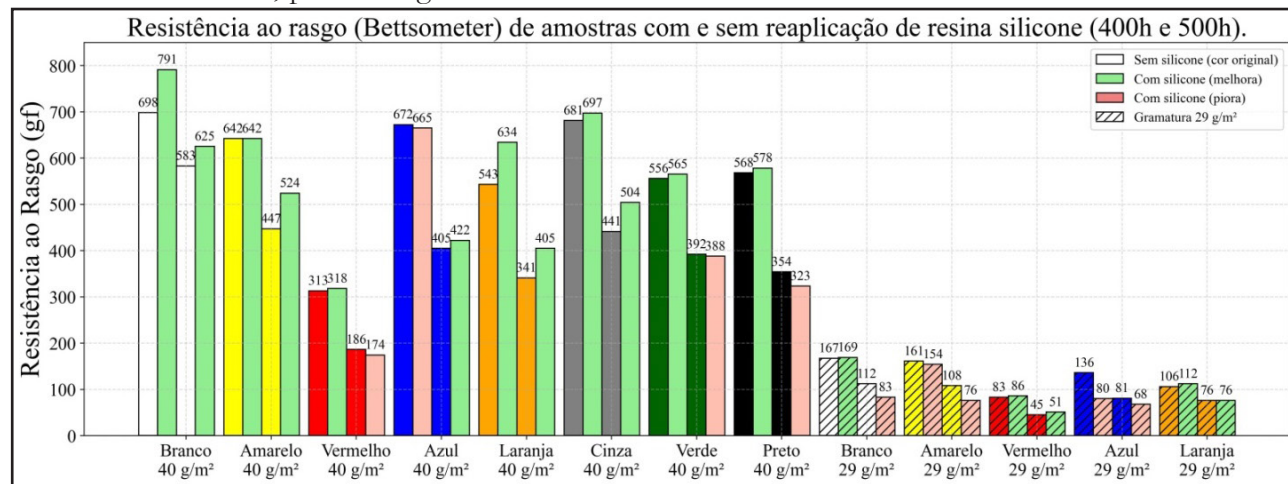
As Figuras 11 e 12 apresentam o desempenho médio da permeabilidade ao ar e da resistência ao rasgo, respectivamente, para cada cor de tecido e gramatura, nas exposições de 400 e 500 horas. Em cada conjunto, a primeira barra representa o valor médio sem reaplicação de resina, justaposta a uma segunda barra, correspondente ao valor médio com reaplicação. Essa segunda barra é destacada em verde-claro quando indica melhora no desempenho e em rosa-claro quando indica piora. Essa disposição permite a comparação direta entre os tratamentos, facilitando a análise dos efeitos da reaplicação ao longo do tempo, por cor e por gramatura.

Figura 11 – Desempenho médio da permeabilidade ao ar às 400 e 500 horas, com e sem reaplicação de resina de silicone, por cor e gramatura do tecido.



Fonte: O autor, 2025.

Figura 12 – Desempenho médio da resistência ao rasgo às 400 e 500 horas, com e sem reaplicação de resina de silicone, por cor e gramatura do tecido.



Fonte: O autor, 2025.

A reaplicação de resina de silicone proporcionou melhorias aparentes na permeabilidade ao ar, sobretudo em tecidos com gramatura de 29 g/m². Entretanto, essas melhorias partiram de condições iniciais severamente comprometidas, o que reduz de forma significativa a relevância funcional dos ganhos observados. De modo geral, embora a reaplicação represente um reforço pontual no desempenho, seus efeitos mostraram-se paliativos e insuficientes para conter a degradação estrutural progressiva dos tecidos em exposições subsequentes.

Quanto à resistência ao rasgo, a reaplicação da resina de silicone apresentou impacto limitado ou mesmo negativo, sem variações expressivas em ganhos de desempenho.

4 CONCLUSÕES

Esta pesquisa apresentou uma análise integrada da degradação de tecidos sintéticos utilizados em parapentes, destacando os fatores críticos que influenciam seu desempenho, segurança e vida útil. A investigação em condições de exposição controlada corroborou a degradação progressiva da permeabilidade ao ar, identificando um período crítico entre 300 e 400 horas em uma condição significativamente mais intensa em comparação aos cenários de uso real dos equipamentos, e evidenciou a superioridade da gramatura de 40 g/m² em relação à resistência ao rasgo e à solidez da cor. A análise da resistência ao rasgo ressaltou maior robustez estrutural na direção perpendicular ao urdume, enfatizando a importância da orientação do tecido na fabricação de velames. O desenvolvimento do Índice de Desempenho Composto (IDC) e a análise do Score Médio (SM) confirmaram que a gramatura de 40 g/m² oferece desempenho e durabilidade significativamente superiores, com destaque para a amostra amarela.

A reaplicação de resina de silicone, como estratégia para restaurar propriedades superficiais ou mitigar impactos da degradação, mostrou-se insuficiente, sem variações expressivas no desempenho.

Em síntese, este estudo fornece subsídios relevantes para a compreensão da degradação de tecidos sintéticos em parapentes, reforçando a necessidade de considerar a gramatura, a composição de corantes, a orientação do tecido e os acabamentos superficiais na especificação desses materiais. Além disso, os resultados indicam caminhos para a evolução de sistemas como o Durable Light System (DLS), visando aumentar a segurança, o desempenho e a vida útil não só de parapentes, mas também de outros veículos aéreos confeccionados com tecidos de náilon submetidos à irradiação solar.



Informações dos autores:

Antônio Luís Cardoso Neto

<https://orcid.org/0000-0001-8277-2642>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4824141513494341>

netoalcn@fab.mil.br; neto2148@gmail.com

Mini-currículo: Graduado em Engenharia Aeronáutica pela Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP, 2011) e é pós-graduado em Engenharia de Materiais, Engenharia e Gestão da Qualidade e de Projetos, Engenharia de Desenvolvimento de Produto (Engenharia, Produção e Construção), Estatística Aplicada (Ciências Naturais, Matemática e Estatística) e Análise de Dados (Computação e TIC), todas pela Universidade Pitágoras Unopar Anhangüera. Atualmente, é Técnico em Meteorologia e atua como Administrador do Banco de Dados Climatológicos na Divisão de Ciências Atmosféricas do Instituto de Aeronáutica e Espaço (ACA/IAE), apoiando atividades operacionais e de pesquisa em Meteorologia e Climatologia Aeroespacial. No presente trabalho, foi o pesquisador principal responsável pela conceituação do estudo, condução experimental, análise e interpretação dos dados, elaboração de gráficos e visualizações, e pela redação e revisão final do manuscrito.

Ivone Regina de Oliveira

<https://orcid.org/0000-0002-9747-7651>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1078848217755188>

ivone@univap.br; ivoneregina.oliveira@gmail.com

Mini-currículo: Graduada em Química Tecnológica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP, 1995). Obteve mestrado (1999), doutorado (2003) e pós-doutorado (2004–2008) em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Atualmente, é Professora e Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Processamento de Materiais da Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP). Atua em pesquisas sobre desenvolvimento e caracterização de biomateriais, como cimentos de aluminato de cálcio, biocerâmicas e compósitos poliméricos bioabsorvíveis, sendo coautora de livro e de patentes na área. Neste estudo, foi responsável pela orientação metodológica, supervisão científica, validação dos resultados e apoio na estruturação das etapas experimentais.

Paulo Henrique Salles de Carvalho

<https://orcid.org/0000-0003-1376-0079>

<http://lattes.cnpq.br/3818415950053235>

pshalles1982@gmail.com

Tel: (12) 3947-1123

Mini-currículo: É Engenheiro Mecânico com ênfase em Mecatrônica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), mestre e doutor em Engenharia Mecânica e Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Possui experiência profissional nas indústrias de petróleo e automobilística, tendo atuado também como professor



colaborador no ITA. Atualmente, é docente da Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), onde leciona em cursos de Engenharia e no Programa de Pós-Graduação em Processamento de Materiais. É revisor de periódicos científicos e Conselheiro na Câmara de Engenharia Mecânica e Metalurgia do CREA-SP. Neste trabalho, colaborou na estruturação metodológica, nas análises estatísticas, na validação e revisão técnica dos resultados, além de participar da supervisão científica do projeto.

Contribuições dos autores:

Antônio Luís Cardoso Neto: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Visualização, Escrita – rascunho original, Escrita – revisão e edição.

Ivone Regina de Oliveira: Metodologia, Recursos, Supervisão e Validação.

Paulo Henrique Salles de Carvalho: Metodologia, Recursos, Supervisão e Validação.

Como citar este artigo:

ABNT

CARDOSO NETO, A. L.; OLIVEIRA, I. R.; CARVALHO, P. H. S. Avaliação dos efeitos ambientais e da irradiação solar em tecidos de parapente: desempenho funcional e vida útil. **Revista da UNIFA**, Rio de Janeiro, v. 38, p. 1-21, 2025.

APA

CARDOSO NETO, A. L.; OLIVEIRA, I. R.; CARVALHO, P. H. S. (dezembro, 2025). Avaliação dos efeitos ambientais e da irradiação solar em tecidos de parapente: desempenho funcional e vida útil. **Revista da UNIFA**, Rio de Janeiro, v. 38 (1), p. 1-21.

REFERÊNCIAS

AMZA, C. G. *et al.* **Accelerated aging effect on mechanical properties of common 3D-printing polymers.** *Polymers*, v. 13, n. 23, p. 4132, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 105-J01: têxteis — Ensaio de solidez da cor — Parte J01: princípios gerais para a medição da metameria.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 13937-2: têxteis — Propriedades de rasgamento de tecidos — Parte 2: Determinação da força de rasgamento de amostras em forma de calça de ensaio simples.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.



- DE L'ÉCLAIRAGE, C. C. I. **International Lighting Commission**. Viena: [s.n.].
- EAMES, D. A. **Analysis of fiber UV degradation through an environmental chamber**. 2023. Poster (Annual Poster Symposium for Undergraduate Research and Creativity) – Virginia Commonwealth University, Richmond, VA, 2023. Disponível em: <https://scholarscompass.vcu.edu/uressposters>. Acesso em: 7 jun. 2025.
- FRU, Company. **WR-10 Colorimetry**. Shenzhen -China:[s.n.]. Disponível em: <https://www.shahemeasuring.com/force-measuring-instruments>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- GUAN, M. *et al.* **Evaluation of color degradation on unearthed silks: A data analytical strategy based on microfading spectrometry**. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4530952>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- JANTAS, M. **Paragliding porosity tester - how to test**. [s.l.]: [s.n.]. Disponível em: <https://porosimeter-mj.pl/how-to-test/>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- JDC, Electronics SA. **Porosimeter JDC - Professional Instrument**. Suíça: [s.n.]. Disponível em: <https://www.jdc.ch/website/wp-content/uploads/2018/08/porosimetremk2-mode-demploi.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- KALWIK, A.; POSTAWA, P. **Analysis of changes in the physical properties and structure of poly(oxyethylene) after ageing in natural conditions and accelerated by UVB-313 nm radiation**. *Archives of Metallurgy and Materials*, p. 1519–1524, 2023.
- KÄMPF, G. **Wetterbeständigkeit von Polymeren: Messung der photochemischen Abbauprozesse und der Schutzwirkung anorganischer Pigmente mittels physikalischer Untersuchungsmethoden**. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*, v. 177, p. 1–25, 1990.
- LIU, Y. A Study on Decomposition of Nanoparticle Finished Textiles. *International Journal of Nanoscience and Nanoengineering*, v. 4, n. 5, p. 80-82, 2018.
- MAREK, B.; LERCH, E. Photodegradation and yellowing of polyamides. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, v. 81, n. 11, p. 481–486, nov. 1965.
- MAŚLANKA, P.; KORYCKI, R. Textile cover effect on aerodynamic characteristics of a paraglider wing. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, v. 27, n. 1(133), p. 78–83, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0011.7511>.
- MAŚLANKA, P. *et al.* **Influence of material degradation on deformation of paraglider during flight**. *Materials*, Basel, v. 16, n. 15, p. 5396, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma16155396>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- MENGÜÇ, G. S.; TEMEL, E.; BOZDOĞAN, F. **Sunlight exposure: the effects on the performance of paragliding fabric**. *Industria Textila*, v. 69, n. 5, p. 381–389, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.35530/IT.069.05.1406>. Acesso em: 9 jun. 2025.



MOEZZI, M.; GHANE, M.; SEMNANI, D. Predicting the tensile properties of UV degraded Nylon66/polyester woven fabric using regression and artificial neural network models. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, v. 10, n. 1, p. 155892501501000, 2015.

OLIVEIRA, F. G. **Tingimento da poliamida 6.6 com corantes ácidos, reactivos e directos após modificação superficial com descarga plasmática de Dupla Barreira Dielétrica (DBD)**. 2009. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Têxtil) – Universidade do Minho, Guimarães, 2009.

PHIRI, R. *et al.* **Advances in lightweight composite structures and manufacturing technologies: A comprehensive review**. Heliyon, v. 10, n. 21, p. e39661, 2024.

PMA RESEARCH PAPER. DRAFT PMA - **Standard specifying uniform instructions and criteria to assess the airworthiness of a used paraglider**. Version: V 2024.12.1. [s.l.]: [s.n.]. Disponível em: <https://p-m-a.info/pma-documents/>. Acesso em: 9 jun. 2025.

SHAHE, Company. **AMF and KF Digital Push Pull Gauge**. Wenzhou - China: [s.n.]. Disponível em: <https://www.colorinstrument.cn/down?list=173&sid=174>. Acesso em: 9 jun. 2025.

VAISALA. **CMP6 Solar Radiation Sensor**. Finlândia: [s.n.]. Disponível em: https://www.hobeco.net/sites/default/files/folheto_cmp6_vaisala.pdf. Acesso em: 9 jun. 2025.

Recebido: 16 jul 2025

Aceito: 23 out 2025

