



CONTEXTUALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS MEMBRANAS TÉCNICAS, UTILIZANDO SOLDA POR ALTA FREQUÊNCIA PARA A APLICAÇÃO EM GALPÕES MODULARES

Sávio Pereira | savioap@gmail.com | UNITAU

Evandro Nohara | evandro.nohara@unitau.br | Doutor em Engenharia Aeronáutica e Mecânica no Instituto Tecnológico de Aeronáutica, professor da Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica.

Fernando Gomez | mscfernandogomez@gmail.com | Universidade Unochapeco

RESUMO

Os galpões modulares revestidos de membranas técnicas são uma solução economicamente mais interessante considerando as construções convencionais de alvenaria e estrutura metálica pesada. A seleção das membranas técnicas para revestimentos dos galpões pode e deve passar por análises importantes, a depender da sua aplicação, sendo as duas principais aplicações nos galpões modulares, sendo as fachadas, e coberturas. A confecção das membranas considera não apenas a ferramenta de solda mas a distância das colunas e distância do eixo do perfil de ancoragem do alumínio e do conjunto keder baguete. As análises mecânicas das membranas possuem normas específicas e a observância desta normas irão garantir a melhor escolha do material para a aplicação a que se destina.

Palavras-chave: Membranas técnicas. PVC. PVDF. Soldas. Polímeros. Galpões Modulares.

ABSTRACT

Modular sheds covered with technical membranes are a more economically interesting solution considering conventional masonry constructions and heavy metal structures. The selection of technical membranes for shed coverings can and should go through important analyses, depending on their application, with two main applications being modular sheds, sides and roofs. The fabrication of the membranes considers not only the soldering tool but also the distance between the columns and the distance from the axis of the aluminum anchorage profile and the keder. The membrane mechanical analyzes have specific standards and compliance with these standards will ensure the best choice of material for the intended application.

Keywords: Technical membranes. PVC. PVDF. Welds. Polymers. Modular Sheds.

INTRODUÇÃO

Os galpões modulares revestidos com membranas técnicas, são hoje uma solução flexível, rápida e financeiramente interessante para armazenagens temporárias. Os galpões modulares possuem em seu revestimento um material flexível. Este material é definido pela norma NBR ABNT 17010-1, como sendo um material polimérico com estrutura interna de base têxtil e normalmente revestido de PVC e com adição de outros aditivos a depender da aplicação. As membranas técnicas podem ter diversas aplicações, em estruturas e coberturas elas podem ser aplicadas, conforme ABNT 17010-1 em estruturas de membrana tensionada e estruturas modular.

As estruturas de membrana tensionada são caracterizadas como sendo as membranas parte constituinte da estrutura, já as estruturas modulares a membrana técnica é aplicada somente com a finalidade de cobertura e revestimento da fachada.

O mercado atual de membranas técnicas está projetada para um crescimento de 164,6 bilhões de dólares em 2020 para 222,4 bilhões de dólares até 2025, como apresentado na Figura1.

Figura 1 | Previsão de crescimento Galpões Modulares



Fonte 1 - Markets and Markets

O termo membrana técnica é definido pela ABNT 17010-1 como sendo: Material polimérico flexível impermeável com reforço têxtil destinado ao revestimento de estruturas modulares.

OBJETIVO

Contextualizar e apresentar o processo de confecção das membranas técnicas destinadas ao revestimento de galpões modulares no Brasil. Oportunizando o leitor um entendimento introdutório sobre essa aplicação bem como apresentar o processo de preparação para solda por alta frequência, dentro desta mesma aplicação.

CONTEXTUALIZAÇÃO

Coloquialmente chamada no Brasil de “LONAS” as membranas técnicas não podem ser confundidas com outros materiais também denominados “lonas”, pois as membranas técnicas possuem características especiais e composição específica para a aplicação a que se destina, sendo neste caso o revestimento de galpões montados com estruturas modulares.

As membranas técnicas tem chamado a atenção de técnicos, engenheiros e especialistas no intuito de pesquisar o comportamento mecânico estrutural complexo e a influência das condições climáticas e aplicabilidade das mesmas há muitos anos. Como mencionado por Yousef (2015), é amplamente aceito que o campo de estudo das características mecânicas das membranas técnicas foi iniciado e firmado por Peirce (1937), que conduziu um estudo que demonstra a dificuldade da descrição matemática do comportamento mecânico estrutural das membranas técnicas, mas apresentando a influencia da geometria no comportamento mecânico, seja a força aplicada na trama ou no urdume. Não obstante é evidenciado que Hass, 25 anos antes de Pierce, pesquisou e averiguou as características de tecidos que foram, como mencionado por Yousef (2015), aplicados com sucesso no desenvolvimentos dos dirigíveis, “Zeppelins”.

Já nos anos 90, Doltsinis (1991) apresentaram a modelagem matemática não-linear e a descrição e análise numérica por elementos finitos de um modelo utilizando a aplicação das membranas em uma cobertura.

PARGANA (2006), introduz que para o sistema de estruturas de membranas tensionadas ou tenso estruturas foi apresentado um material mais avançado para aplicação nestes sistemas e demonstrando a deficiência dos materiais existentes. Em 2012, Bridgens, apresenta a influencia da geometria na performance da utilização das membranas em, tenso estruturas. O termo tenso estruturas é também definido pela ABNT 17010-1, como sendo um sistema estrutural, aonde a membrana é parte integrante e contribui para a estabilidade do conjunto.

Meng (2014), discutiram as propriedades da viscoelasticidade e a influência das tensões nas membranas ocasionando o relaxamento ou afrouxamento, apresentando um modelo numérico que se aproxima dos dados experimentais, demonstrando a redução da tensão com o tempo.

A característica de afrouxamento ou relaxamento é mencionado nas normas DIN EN 15619:2014 e DIN EN 15977:2011, como sendo a deformação residual sobre carga. Esta característica é particularmente importante quando falamos de membranas técnicas para galpões modulares aplicadas às coberturas, isso se dá pelo fato do fenômeno do empoçamento que pode ocorrer devido ao afrouxamento das membranas com a ação das condições climáticas externas somadas à força de tensão aplicada. Um dos fatores principais das condições climáticas é a da temperatura externa, que foi observado em 2015, por Zhang *et al*, das universidades China University of Mining and Technology e Tongji University, que estudaram a influência das temperaturas no relaxamento das membranas técnicas e observaram que a taxa de retração após tensão é uma chave para um adequado uso das membranas, todavia é uma tecnologia complexa e há muito poucas referências publicadas sobre este assunto.

Zhang *et al*, observaram ainda que essa taxa de retração é compreendida muitas vezes através do empirismo, ou seja, um conhecimento oriundo através da experiência. Esse conhecimento quando entendido com os materiais utilizados pelas empresas tornam-se um conhecimento secreto e bem guardado pelas empresas, ainda mais depois de entenderem e considerarem para o processo de confecção e tensionamento das membranas a condição de relaxamento ou alongamento das mesmas.

O estudo da influência da temperatura em membranas técnicas, ou a termo-elasticidade, também foi observado por Meng *et al*, (2016), quando aplicado o uso das membranas técnicas em dirigíveis que transitam na estratosfera, utilizados para observação do planeta terra, comunicações e aplicações militares.

O uso das membranas técnicas para em dirigíveis que estão nas camadas da estratosfera, 20-30km de altitude, precisam ter uma boa resistência à radiação UV e como mencionado por Meng *et al*, os materiais revestidos de fluoreto polivídenio (PVDF) são boas escolhas, muito embora são compostas por outras camadas pois precisam reter o gás hélio em seu interior e a variação de temperatura são mais bruscas e intensas. Assim, considerando que as membranas técnicas utilizadas em galpões modulares, são em sua maioria, revestidas de PVDF, pode-se concluir, que em geral possuem boa resistência à radiação UV, desde que não tenha a camada de PVDF desgastada ou de baixa qualidade, pois como mencionado por Toyada *et al*. A resistência a tração inicial cai a 50% depois de 3 anos de desgaste natural, sendo curioso observar que após o 3º ano houve uma estabilização das características mecânicas.

A ação do tempo, envelhecimento, tem efeito direto nas características mecânicas, como observado por Zhang e Zhang. As características observadas por Zhang e Zhang foram a resistência à tração, resistência ao rasgo e módulo elástico até a ruptura.

Dentre as características ambientais, obviamente está a precipitação pluviométrica, que também podem influenciar nas características mecânicas dos materiais como observado por Ambroziak e Kłosowski, (2022) que realizaram um estudo demonstrando a influência da água na degradação e alteração das características mecânicas.

NORMATIVIDADE

Diversas características mecânicas das membranas técnicas podem ser medidas e são, em grande parte, normatizadas por normas internacionais, como por exemplo:

- DIN 53 354 – Força de ruptura longitudinal / transversal (trama ou no urdume)
- DIN 53 363 – Força de rasgamento longitudinal / transversal (trama ou no urdume)
- DIN 53 357 – Adesão
- DIN EN 15619 – Especificação de tecidos/membranas destinados a tendas e estruturas relacionadas
- EN 15977:2011 Determinação do alongamento sobre carga e deformação residual.

PREPARAÇÃO E PROCESSO DE SOLDADA

Durante o processo de confecção das membranas para instalação nos galpões, necessita-se da realização de soldas entre as membranas. Esse processo de solda das membranas pode ser realizado através do uso de equipamentos que emitem a alta frequência. Este processo de soldagem já foi caracterizado por diversos autores, desde o fim dos anos 50 e tem sido mencionado em numerosos artigos. Atualmente, no mercado de galpões modulares, e em diversos outros setores da indústria, tem sido amplamente utilizado, Hollande (1998). Sendo inclusive crescente sua aplicação na “costura” de roupas especiais, Shi (2012). Este processo de solda por alta frequência é certamente o mais popular processo de solda para termoplástico dada a sua rapidez de solda gerando economia e devido a fácil automatização do processo.

O processo de solda acontece, de maneira simplificada, através da geração de calor no cabeçote do equipamento, que deverá ser suficiente para o derretimento e promover uma fusão molecular entre as partes a serem soldadas. Durante o processo de solda uma pressão, mecânica precisa estar acontecendo a fim de produzir uma melhor fusão entre os materiais. Assim, como mencionado por Hollande (1998), os principais parâmetros do processo de soldagem são: pressão, temperatura, tempo e as partes a serem soldadas.

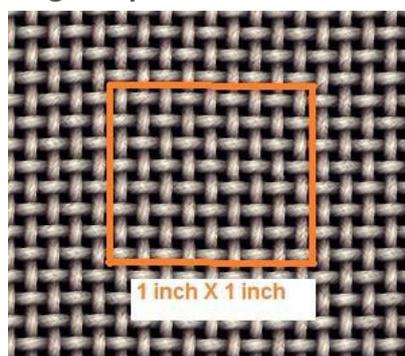
Como mencionado anteriormente as membranas técnicas, destinadas ao revestimento dos galpões modulares, são compostas de material polimérico e por isso devido a sua natureza termoplástica podemos inferir que a soldabilidade dos materiais poderá ocorrer por meio de alta frequência.

Existe ainda o processo por alta frequência de aproximadamente 27,12 MHz em que há o contato direto com a peça a ser soldada, durante esse processo a temperatura precisa ser controlado para se manter e garantir a integridade da solda. Hollandea (1998). Durante o processo as partes são mantidas sobre pressão, que com a alta frequência produzida e subsequente geração de calor no material de revestimento provocando a fusão das peças.

Como mencionado anteriormente as membranas técnicas possuem um reforço têxtil, o processo de tecelagem simples consiste no entrelaçamento levantando e abaixando os fios de urduma atrás de fios de trama, este processo pode produzir um número de configurações praticamente ilimitado. Anand (2000).

Usualmente da-se o nome das membranas pela contagem dos fios em polegada quadrada. Celanese (2001) ou por centímetro quadrado ou quaisquer outras unidades de área. Anand (2000). Conforme Figura 2.

Figura 2 | Contagem de fios por polegada quadrada 9x8

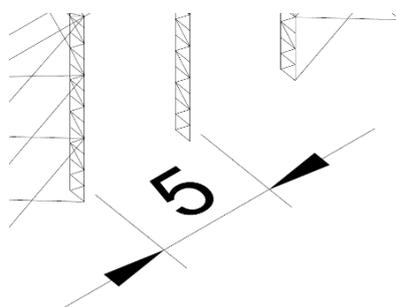


Fonte 2 - onlineclothingstudy.com

O processo de produção das membranas para o revestimento de galpões modulares depende necessariamente da realização de “emendas” ou soldas nas membranas, seguindo a norma DIN EN ISO 2286-1, para determinação das características das boninas de membranas técnicas. Todavia há limitações físicas de produção, que em alguns casos limita-se a bobinas com 2,47 metros de largura, como mostrado na Figura 11 e Figura 12.

Durante o projeto das estruturas modulares, mantém-se o seu comprimento entre os pórticos (conjunto colunas e tesouras), há uma distância de 5 metros como apresentado na Figura 3, assim as membranas precisam ser modeladas, não exatamente para um vão de 5 metros, pois como apresentado nas Figura 4 e Figura 5 as membranas precisam compensar a distancia do eixo do perfil da coluna para a extremidade do perfil de ancoragem, eventualmente este perfil pode ser de material polimérico ou de alumínio, a nomenclatura deste perfil e fixação é mencionado na norma ABNT NBR 17010. Por isso várias partes precisam ser unidas, gerando a necessidade de utilização do processo de solda das membranas, neste estudo, por Alta frequência (HF).

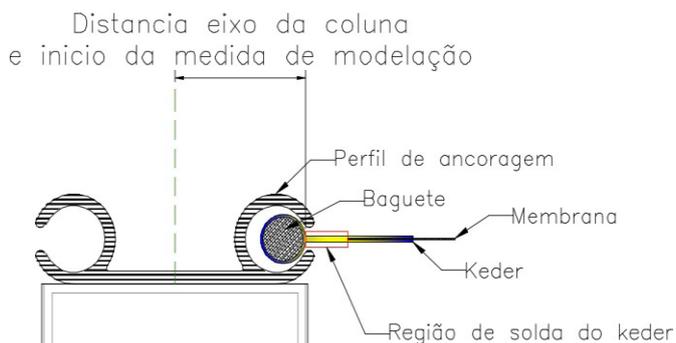
Figura 3 | Distancia de eixo entre pórticos



Fonte 3 - autor

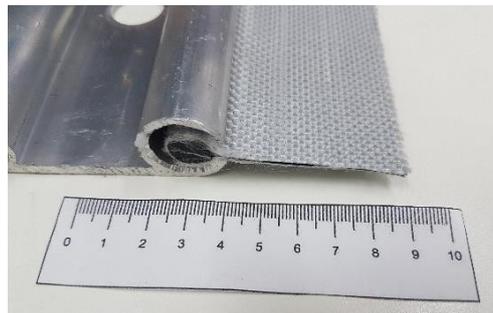
A ancoragem das membranas nos galpões se dá por meio do conjunto keder/baguete, conforme a Figura 4 e Figura 5. O Keder é um material também composto por um material polimérico flexível, mas somente com um dos lados (interno), revestidos de PVC, sendo o lado externo, sem revestimento de PVC, possuindo apenas um verniz deslizante na face do poliéster, seguindo a norma ISO 846 (Metodo A).

Figura 4 | Distância de eixo à extremidade da baguete



Fonte 4 - autor

Figura 5 | Perfil de ancoragem com o conj.Keder/Baguete



Fonte 5 – autor

O material denominado BAGUETE, trata-se de um material a base de borracha que permitirá que, após a realização da solda, prendendo o baquete no keder, este possa ser ancorado no perfil de alumínio, conforme Figura 6.

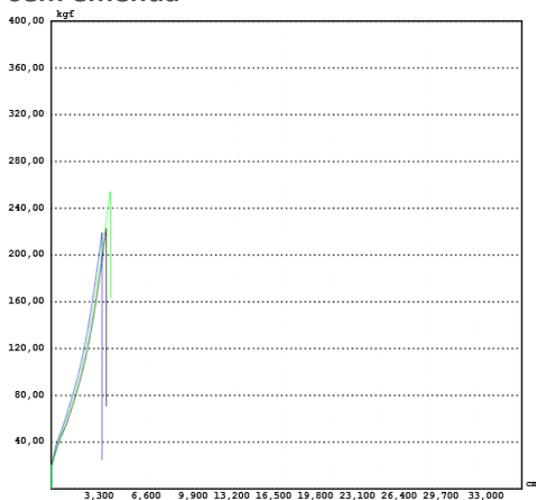
Figura 6 | Exemplo de baguete soldada no keder



Fonte 6 - autor

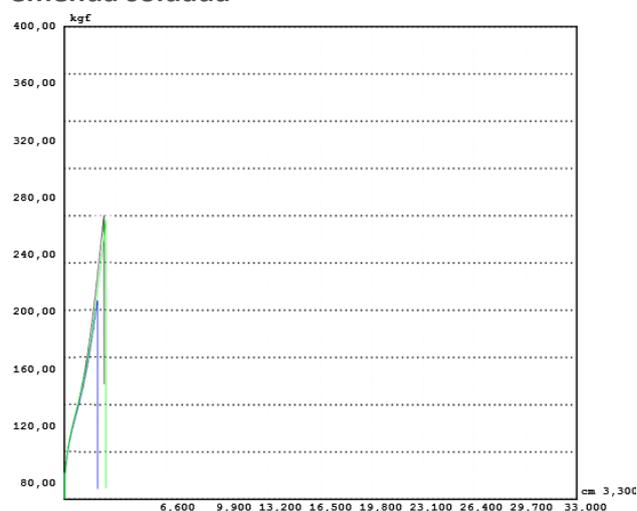
O processo de solda promove uma resistência, diversas vezes, bem maior que a própria membrana sem solda esse processo é realizado por meio do aquecimento das membranas promovendo a fusão dos materiais.

Figura 7 | Ensaio de tração lona inteira sem emenda



Fonte 7 - autor

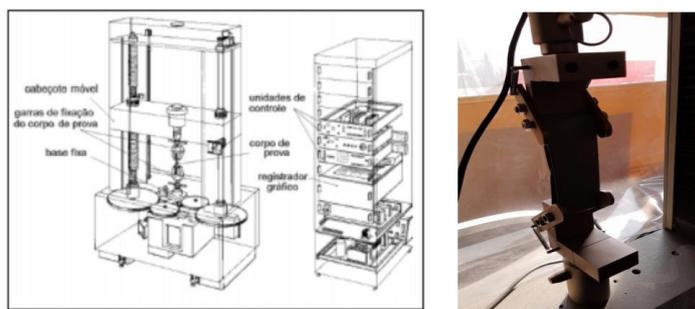
Figura 8 | Ensaio de tração lona inteira com emenda soldada



Fonte 8 - autor

Afim de garantir que haja uma soldabilidade adequada entre os materiais, testes de solda entre os materiais são realizados, estes testes consistem na realização de uma amostra dos materiais ensaiados, realizando a solda seguindo os parâmetros definidos pela norma pelo equipamento conforme Figura 9, seguido pela realização do tracionamento do material segundo os parâmetros da norma DIN 53 354.

Figura 9 | Máquina de Ensaio modelo CKS-2000 KGF



Fonte 9 - autor

A norma DIN 53 354, pode ser utilizada também para apresentar os testes de ruptura, e alongamento até a ruptura. Todavia estes não são as únicas características necessárias de avaliação para seleção e aplicação das membranas técnicas nos galpões modulares, como apresentado anteriormente e também possuem normas internacionais ou nacionais de regulação.

A norma brasileira ABNT NBR 6120:2019, estabelece que para coberturas tensionadas com elementos flexíveis, devem ser dimensionadas para uma carga variável de $0,25\text{KN/m}^2$, entretanto este trabalho não se destina ao estudo de calculo estrutural para o qual a NBR 6120:2019 se aplica, assim sendo não aborda-se as questões estruturais do galpão mas sim as questões mecânicas estruturais das membranas técnicas.

A fim de proporcionar melhor entendimento de algumas fotos apresentadas neste artigo propõem-se uma escala impressa em papel de 10cm mostrado na Figura 10.

Figura 10 | Calibração de escala para fotos



Fonte 10 - autor

Na aplicação do revestimento de estruturas modulares as membranas técnicas possuem a composição de fibra de poliéster com a determinação de massa por metros quadrados (g/m^2), seguindo a norma DIN EN ISO 2286-2 e revestimento com manta de PVC + Acrílico / PVDF em ambos os lados.

As membranas para este fim são fornecidas em bobinas de 2,47m de largura com uma variação de +/- 2 cm e entre 250 e 300 metros de comprimento no rolo. Saindo do estoque como mostra a Figura 11, onde são separadas e etiquetadas como apresenta a Figura 12 são posicionadas em uma desbobinadeira Figura 13.

Figura 11 | Bobinas de membranas Técnicas



Fonte 11 – autor

Figura 12 | Etiqueta identificação de bobinas



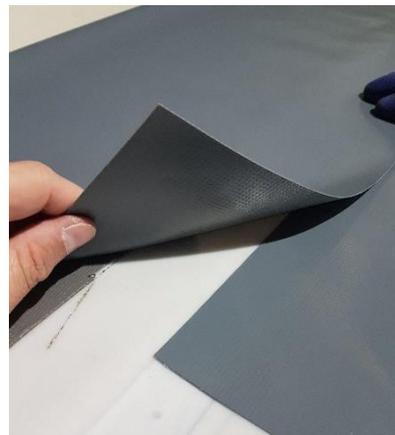
Fonte 12 - autor

Figura 13 | Desbobinadeira TPL 2 HD



Fonte 13 - autor

Figura 14 | Posição e sobreposição das membranas para solda



Fonte 14 - autor

Figura 15 | Solda de membrana / keder



Fonte 15 – autor

Figura 16 | Posição de solda entre membranas



Fonte 16 -autor

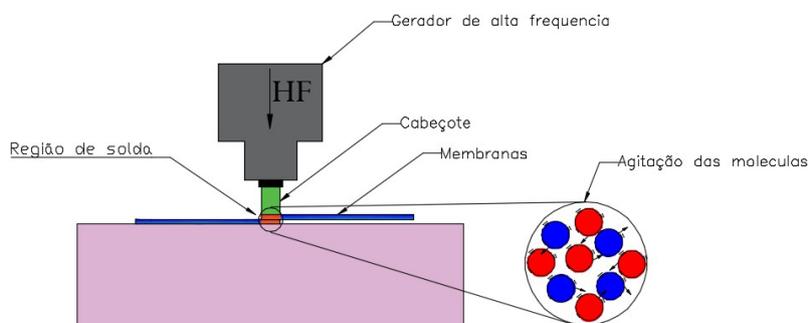
Como mencionado a largura da membrana na bobina é de 2,47m assim em muitos casos é necessário a realização de soldas para que larguras maiores que 2,47m possam ser utilizadas Figura 12.

O processo de solda das membranas técnicas podem ser realizados através de alta frequência, sendo que através da alta frequência as moléculas recebem energia, promovendo agitação entre moléculas que geram calor, este calor entre as membranas gera a fusão dos materiais Figura 17.

O processo de solda por alta frequência é classificado dentro da soldagem por termoplásticos, por soldagem a FRICÇÃO, pois a frequência faz com que as cadeias moleculares dos materiais se agitem e por fricção produzem calor gerando fusão entre os materiais a serem soldados Figura 15 e Figura 19.

A máquina de solda precisa controlar a pressão entre os materiais enquanto emite a alta frequência, controlando inclusive o tempo de solda. Esse processo pode ser ajustado no painel do equipamento de acordo com a espessura e característica do material Figura 18.

Figura 17 | Esquema do processo de solda HF



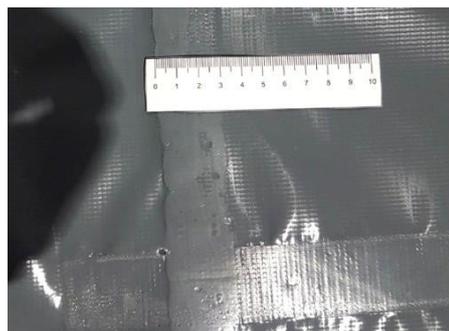
Fonte 17 - autor

Figura 18 | Equipamento TDW-Mega 800 da Forsstrom de geração de alta frequência



Fonte 18 - autor

Figura 19 | Membranas soldadas



Fonte 19 - autor

CONCLUSÃO

As membranas técnicas possuem diversas características que possibilita a utilização das mesmas em diversas aplicações, todavia a observância dessas características é fundamental para selecionar as membranas com construção e característica adequada.

No presente artigo foi apresentado o processo de solda por alta frequência utilizado para produção de membranas técnicas destinadas ao revestimento de galpões modulares aplicados à armazenagem. Essa tecnologia para o processo de solda por alta frequência se mostra uma solução muito interessante do ponto de vista mecânico, pois tem-se um substancial aumento de resistência. Todavia se faz necessário treinamento de operação afim de se operar os equipamentos corretamente e assim garantir o aumento da vida útil do equipamento.

REFERÊNCIAS

(<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/technical-textile-market-1074.html>)

<https://www.forsstrom.com/en/machine/tdw-mega-650-1000/>

<https://www.onlineclothingstudy.com/2013/07/how-to-find-epi-and-ppi-of-fabric.html>

<https://www.airforce-technology.com/projects/stratobus/#:~:text=of%20Thales%20Group,->

[,Stratobus%20is%20an%20autonomous%2C%20stratospheric%20airship%20providing%20permanent%20monitoring%20and,a%20range%20of%20government%20missions](https://www.airforce-technology.com/projects/stratobus/#:~:text=of%20Thales%20Group,-,Stratobus%20is%20an%20autonomous%2C%20stratospheric%20airship%20providing%20permanent%20monitoring%20and,a%20range%20of%20government%20missions)

www.woodhead-publishing.com

Ambroziak, A.; Kłosowski, P. Influence of Water-Induced Degradation of Polytetrafluoroethylene (PTFE)-Coated Woven Fabrics Mechanical Properties. *Materials* 2022, 15, 1. <https://doi.org/10.3390/ma15010001>

Bhudolia, S.K.; Gohel, G.; Leong, K.F.; Islam, A. Advances in Ultrasonic Welding of Thermoplastic Composites: A Review. *Materials* 2020, 13, 1284. <https://doi.org/10.3390/ma13061284>

Complete Textil Glossary, 2001 - Celanese Acetate

Frederick Thomas Peirce D.Sc. and F.Inst.P. and F.T.I. (1937) 5—THE GEOMETRY OF CLOTH STRUCTURE, *Journal of the Textile Institute Transactions*, 28:3,T45-T96, DOI:10.1080/19447023708658809

HANDBOOK OF TECHNICAL TEXTILES Edited by A R Horrocks and S C Anand Published by Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute Abington Hall, Abington Cambridge CB1 6AH England

H. Toyada, H. Sakabe, T. Itoh, T. Konishi, and T. Torii, "Weatherability of Membrane Structure Materials as Determined by Exposure Conditions," *ESN 1 Gakkaishi*, 1994.

Haas, R. (1912). The stretching of the fabric and the deformation of the envelope in nonrigid balloons. Part I: The stretching of the fabric and the shape of the envelope (pp. 149–250). Berlin: NACA (reported in English by Karl K. Darrowin 1917).

J. Argyris, I. St. Doltsinis, V.D. da Silva, Constitutive modelling and computation of non-linear viscoelastic solids. Part I: Rheological models and numerical integration techniques, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Volume 88, Issue 2, 1991, Pages 135-163, ISSN 0045-7825,

J.B. Pargana, D. Lloyd-Smith, B.A. Izzuddin, Advanced material model for coated fabrics used in tensioned fabric structures, *Engineering Structures*, Volume 29, Issue 7, 2007, Pages 1323- 1336, ISSN 0141-0296,

Lei Meng, Minger Wu, Study on stress relaxation of membrane structures in the prestress state by considering viscoelastic properties of coated fabrics, *Thin-Walled Structures*, Volume 106, 2016, Pages 18-27, ISSN 0263-8231,

M. Issam Yousef & George K. Stylios (2015) Legacy of the Zeppelins: defining fabrics as engineering materials, *The Journal of The Textile Institute*, 106:5, 480-489, DOI: 10.1080/00405000.2014.926606

Stéphanie Hollande, Jean-Louis Laurent, Thierry Lebey, High-frequency welding of an industrial thermoplastic polyurethane elastomer-coated fabric, *Polymer*, Volume 39, Issue 22, 1998, Pages 5343-5349, ISSN 0032-3861, [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(97\)10281-6](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(97)10281-6).

Toyada, S. Nireky, H. Jutunen, and T. Ohnuma, "Durability of PVC Coated Fabric for Membrane Structures," *I.A.S.S.S*, 1990, Dresden and Cottbus.

Weihua Shi Trevor Little, (2000), "Mechanisms of ultrasonic joining of textile materials", *International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol. 12 Iss 5 pp. 331 – 350

Wenying Zhou, Jing Zuo, Wene Ren, Thermal conductivity and dielectric properties of Al/PVDF composites, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 43, Issue 4, 2012, Pages 658-664, ISSN 1359-835X, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.11.024>.

Yingying Zhang, Shanshan Xu, Qilin Zhang, Yi Zhou, "Experimental and Theoretical Research on the Stress-Relaxation Behaviors of PTFE Coated Fabrics under Different Temperatures", Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2015, Article ID 319473, 12 pages, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/319473>

Yingying Zhang, Mingyue Zhang, "Aging Properties of Polyvinylidene fluoride-Coated Polyesters Used in Tensioned Membrane Structure: Effect of Loading Protocol and Environment", Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2017, Article ID 8789247, 10 pages, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8789247>