ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES (EACH) –
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP/SP).

REGINA GUIDON DE ASSIS

Um estudo sobre arquitetura têxtil no Brasil: o segmento de mercado das estruturas tensionadas feitas com membranas de poliéster/PVC.

São Paulo
2012

REGINA GUIDON DE ASSIS

Um estudo sobre arquitetura têxtil no Brasil: o segmento de mercado das estruturas tensionadas feitas com membranas de poliéster/PVC.

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Têxtil e Moda da Escola de Ciência, Artes e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração:
Processos e Materiais Têxteis

Orientadora:
Profª Dra. Cláudia Regina Garcia Vicentini

São Paulo
2012

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO
Biblioteca
Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo.

Assis, Regina Guidon de
Um estudo sobre arquitetura têxtil no Brasil: o segmento de mercado das estruturas tensionadas feitas com membranas de poliéster/PVC. Regina Guidon de Assis; orientadora: Cláudia Regina Garcia Vicentini. – São Paulo, 2012
130f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós Graduação Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo.

1. Tecidos (Indústria Têxtil). 2. Poliéster – Propriedades físicas. 3. Poliéster – Uso – Arquitetura. 4. Fios (Indústria têxtil). 5. Tecnologia têxtil. I. Vicentini, Cláudia Regina Garcia, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 677.02

Nome: ASSIS, Regina Guidon de

Título: Um estudo sobre arquitetura têxtil no Brasil: o segmento de mercado das estruturas tensionadas feitas com membranas poliéster/PVC

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em: 13/12/2012

Banca Examinadora

Professora D^{ra} Cláudia Regina Garcia Vicentini. Instituição: EACH/USP

Julgamento: Aprovada Assinatura:_____

Professora D^{ra} Regina Aparecida Sanches. Instituição: EACH/USP

Julgamento: Aprovada Assinatura: _____

Professor Dr. Ruy Marcelo de Oliveira Pauletti. Instituição: POLI/USP

Julgamento: Aprovada Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Ao meu marido que sempre me incentiva a ler, estudar, aprender e escrever.

À minha orientadora, que me ajudou na definição do tema e me incentivou a persistir na busca de informações e na estruturação do trabalho em si.

Aos professores doutores, reconhecidos estudiosos do assunto, Ruy Marcelo O. Pauletti e Sasquia H. Obata, que me ajudaram bastante, compartilhando seus conhecimentos e experiências sobre o tema.

À professora Doutora Regina Aparecida Sanches, da EACH, pelo incentivo desde minha decisão de fazer o mestrado até as correções e sugestões no texto final.

Aos profissionais do setor, Laura W. Nascimento, Carlos Bauer, Paulo André Barroso, Dietrich Wischoff, Gustavo Yogi, Horácio Gonzáles, Rita Bose e Voldemir Fakri, pelas ricas informações e comentários sobre o assunto, além do apoio e atenção dispensada. Sem deixar de mencionar, Valdir Galido, Vicente Domingues, Maurício Chivante, Gustavo Merlin, Buby, Ichiro, Paulo Danelli, Túlio, Satoshi Morita, Rafael Gehlen, Tony Brito, Milton Astrath e Milton Briguet Bastos, e de igual modo, me apoiaram e/ou contribuíram com informações aqui contidas. Foi muito importante ter contatado essas pessoas que possuem vivência e prática neste segmento.

Às empresas fabricantes Serge Ferrari, Mehler, Ledervinmatec e Sansuy, cujos funcionários estão dentre os profissionais acima mencionados, por me receberem para falar sobre o tema e me ajudarem com informações e/ou materiais fundamentais para a realização e evolução da minha pesquisa.

Deixo ainda aqui registrado meu agradecimento a CAPES pela concessão de uma bolsa de estudos, bem como à EACH/USP e aos professores da pós-graduação, por confiarem no meu pré-projeto apresentado na ocasião da minha admissão para o mestrado, e acreditarem que eu seria capaz de desenvolver o tema e assim também poder contribuir com mais uma pesquisa dentro do segmento têxtil, tão carente de pesquisas e estudos e acadêmicos.

RESUMO

ASSIS, R.G. **Um estudo sobre arquitetura têxtil no Brasil: o segmento de mercado das estruturas tensionadas feitas com membranas de poliéster/PVC**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Um tipo de composto têxtil, comumente chamado de membrana têxtil, tem sido empregado, nas últimas décadas, como parte de um sistema arquitetônico usado para a cobertura, fechamento e/ou proteção de espaços públicos e privados em vários países do mundo. O termo 'membrana' está relacionado com o fato de o material permanecer tensionado e separar dois ambientes que se interagem. Essa solução arquitetônica é comumente conhecida como 'arquitetura têxtil, especialmente quando se trata de estruturas tensionadas; o termo é usado por muitos profissionais em todo mundo, apesar de não existir uma unanimidade de opiniões sobre os conceitos envolvidos na definição do termo e o que ele abrange.

Na maior parte dos casos, as obras geradas são muito atraentes, práticas e funcionais, com características, formas e tamanhos diversos, dependendo da necessidade a ser atendida. Quando bem projetadas, integram-se perfeitamente ao ambiente por terem formas orgânicas e passarem uma imagem de leveza, fluidez e modernidade.

São dois os tipos de membranas têxteis mais usados: 1) um grupo de membranas cujo tecido estruturante é um tecido de poliéster recoberto em ambos os lados por uma camada de cloreto de polivinila (PVC), e 2) um grupo de membranas feitas com tecidos de vidro recobertos com politetraflúoretileno (PTFE). O foco principal deste trabalho são as membranas de poliéster/PVC usadas para estruturas tensionadas. Os tecidos usados nessa gama estão enquadrados na categoria denominada 'tecidos técnicos', e são formados por fios compostos por filamentos de poliéster de alta tenacidade de diferentes tipos, gerando vários artigos com características técnicas distintas e, consequentemente, membranas com diversas especificações e comportamentos diferentes na aplicação final.

Este estudo traz uma visão geral sobre o assunto no mundo e um panorama mais detalhado para o Brasil, abordando definições, termos usados, materiais, fornecedores, especificações, tipos de produtos e acabamentos, normas, reciclagem e meio ambiente.

A ‘beleza’ e ‘modernidade’ são apontadas como as principais qualidades desse tipo de cobertura. As expectativas são de crescimento dessa aplicação para os próximos anos. Porém a falta de conhecimento e a complexidade técnica desse tipo de solução é um problema a ser solucionado para que melhores resultados sejam atingidos e ela possa realmente ser considerada uma solução viável e adequada para o país.

Palavras-chave: arquitetura têxtil, estruturas tensionadas, membranas de poliéster/PVC, tecidos de poliéster, tecidos técnicos, filamentos de poliéster alta tenacidade.

ABSTRACT

ASSIS, R.G. A study about textile architecture in Brazil: the market segment of tensile structures made with polyester/PVC membranes, 2012. Thesis of Master – *Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.*

The type of textile compound, commonly called ‘textile membrane’, has been employed in recent decades, as part of an architectural system used for covering, closing and/or protection of publics and private spaces in many countries around the world. The term ‘membrane’ is related to the fact that the material remains tensioned and separating two interacting environments. This architectural solution is commonly known as ' textile architecture ', especially when ‘tensile structures’ are involved; this term is used by many professionals worldwide, although it do not exist a unanimity of opinions regarding the concepts involved in the definition of the term and what it encompasses.

In most cases, the structures generated are very attractive, practical and functional, with different characteristics, different shapes and sizes, depending on the requirements to be met. When well designed, they will be seamlessly integrated with the environment by having organic forms, giving a feeling of lightness, fluidity and modernity.

The two types of textile membranes commonly used are: 1) a group whose structuring material of the membrane is a polyester fabric coated, on both sides, with a layer of polyvinyl chloride (PVC), and 2) a group of membranes made with glass filament fabrics coated with polytetrafluoretilene (PTFE). The focus of this work is the polyester/PVC membranes used for tensile structures. The fabric used in this range is framed within the category named 'technical fabrics', and are composed by different kinds of high tenacity yarns of polyester filaments, generating several articles with different technical characteristics and consequently, membranes with different specifications and different behaviors in the final application.

The study provides an overview of the subject in the world and a panorama slightly more detailed for Brazil, covering definitions, terms, used materials, suppliers, specifications, product types and finishes, recycling and environment issues.

The ' beauty ' and ' modernity ' are cited as the main qualities of this type of covering. There are expectations of growing of this application for coming years. But the lack of knowledge and the technical complexity of this kind of solution is a problem to be solved, so that best results can are achieved and it can really be considered a viable and appropriate solution for the country.

Keywords: Textile architecture, tensile structures, polyester/PVC membranes, polyester fabrics, technical fabrics, high tenacity polyester yarns (filaments).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aeroporto de Denver, Colorado, EUA. 30
Figura 2 – Hajj Terminal, Jeddah Airport, Arábia Saudita. 31
Figura 3 – Domo do milênio. Londres, Inglaterra. 32
Figura 4 – Estádio Foshan, China. 32
Figura 5 – Sheraway Gardens Mall, Toronto, Canadá. ……..... 33
Figura 6 – Formas de estruturas tensionadas. 36
Figura 7 – Teatro de Arena Elis Regina, Americana/SP (autora)..... 43
Figura 8 – Processo Texyloop® Serge Ferrari. 46
Figura 9 – Exemplo de filamento liso de poliéster. 50
Figura 10 – Teares convencionais na sala de tecelagem. 55
Figura 11 – Detalhe dos fios de urdume no tear..... 56
Figura 12 – Representação de quatro diferentes construções de tecido..... 57
Figura 13 – Tecido com construção panamá 2/2..... 57
Figura 14 – Tecido de poliéster com fio 1.100dtex; 12x12 fios/cm..... 59
Figuras 15 e 16 – Telas de reforço (*scrim*)..... 60
Figura 17 – Lonas comuns PES/PVC em várias cores. 62
Figuras 18 e 19 – Membranas de poliéster/PVC/PVDF..... 63
Figura 20 – Processos de espalmagem..... 67
Figura 21 – Membrana de vidro/PTFE (autora)..... 73
Figura 22 – Centro aquático Nacional em Pequim..... 79
Figura 23 – Estádio Olímpico de Montreal, Canadá 80
Figura 24 – Cobertura tensionada do Shopping Pátio Osasco/SP..... 85
Figura 25 – Exemplo de plano de padronagem..... 86
Figura 26 – Igreja Batista Central, Fortaleza/CE..... 103
Figura 27 – Feira de Ananindeua, Pará.....104
Figura 28 – Mercado Ver-o-peso, Belém/PA.....105
Figuras 29 e 30 – Morro da Urca, Rio de Janeiro/RJ.....106
Figura 31 – Marina da Glória – Rio de Janeiro/RJ.....106
Figura 32 – New York Shopping, Rio de Janeiro/RJ. 107
Figura 33 – Shopping Nova América, Rio de Janeiro/RJ.....107
Figura 34 – Rodo Shopping Paulínia, Paulinia/SP.....107
Figura 35 – Paulinia/SP 107

Figura 36 – Teatro de Arena Elis Regina, Americana/SP.....107
Figura 37 – Biblioteca SP, São Paulo/SP.....107
Figuras 38 e 39 – Pq.Salvador Arena, S.Bernardo do Campo/SP.....108
Figura 40 – Shopping Patio Osasco/SP….....108
Figura 41 – Museu de Tecnologia Cientec/USP.....108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre fio têxtil e fio industrial 52
Tabela 2 – Principais títulos de fio de poliéster para membranas PES/PVC.... 54
Tabela 3 – Tecidos de poliéster e tecidos de vidro com diferentes densidades e as respectivas deformações..... 58
Tabela 4 – Comparativo de preços. 70
Tabela 5 – Especificações dos cinco tipos de membranas PES/PVC..... 71
Tabela 6 – Principais fabricantes de membranas de PES/PVC..... 72
Tabela 7 – Dois fabricantes brasileiros de membranas de PES/PVC..... 72
Tabela 8 – Especificações de membranas de vidro/PTFE do fabricante Obeflex, (Obeflon®)..... 76
Tabela 9 – Especificações de membranas de vidro/PTFE do fabricante Verseidag 76
Tabela 10 – Principais fabricantes de membranas de vidro/PTFE, seus logotipos e marcas..... 77
Tabela 11 – Comparação entre dois tipos de membranas: PES/PVC e vidro/PTFE. 77
Tabela 12 – Normas técnicas. 82
Tabela 13 – Respostas dos fabricantes sobre o número de clientes (montadoras)..... 97

LISTA DE SIGLAS

ABIT – Associação Brasileira das Indústrias Têxteis

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAFAS - Associação Brasileira de Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

DIN – *Deutsches Institut für Normung*

DMT – Dimetiltereftalato

Denier – Unidade de medida do fio têxtil

Dtex – Unidade de medida do fio têxtil

ETFE – Etileno tetrafluoretileno

FSA – *Fabric Structures Association*

GF/PTFE – *Glass fabric* (tecido de vidro) com PTFE

IFAI - *Industrial Fabric Association International*

MEG – Monoetileno glicol

MDF – Método das Densidades de Força

MDFN – Método das Densidades de Força Natural

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

NBR – Norma Brasileira

NFPA – *National Fire Protection Association*

PES - Poliéster

PET – Polietileno

POY – *Partly Oriented Yarns*

PTA – Ácido tereftálico

PVDF – Fluoreto de polivinilideno

PVC – Cloreto de polivinila

PVF – Fluoreto de polivinil

PTFE – Politetrafluoretileno

TEX – Unidade de medida do fio têxtil

UNE – Sigla usada para padrão reação ao fogo na Europa

UNE – Sigla usada para normas europeias de classificação de reação ao fogo

UV – Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15

2 A ARQUITETURA TÊXTIL 19

2.1 Histórico 19

2.2 Significado dos termos 24

2.3 Cenário mundial 29

2.4 Forma e estrutura 34

2.5 Beleza, funcionalidade e modernidade 39

2.6 Economia de energia, reciclagem e reutilização 42

3 MATÉRIAS-PRIMAS, MATERIAIS E PROCESSOS 49

3.1 O filamento de poliéster 50

3.2 O tecido de poliéster 55

3.3 As membranas de poliéster/PVC/PVDF 62

3.3.1 O PVC 65

3.3.2 Os acabamentos superficiais (PVDF e outros) 68

3.3.3 Tipos, características, fabricantes e marcas (PES/PVC) 70

3.4 As membranas de vidro/PTFE 72

3.4.1 Tipos, características, fabricantes e marcas (GF/PTFE) 76

3.5 Outros materiais 78

3.6 Ensaios e normas técnicas 81

3.7 Processo de montagem: padronagem 83

4 **A ARQUITETURA TÊXTIL NO BRASIL** 88

4.1 O cenário brasileiro 88

4.2 O setor têxtil brasileiro 94

4.3 As empresas que atuam no segmento 96

4.4 Exemplos de estruturas tensionadas no Brasil 103

5 **METODOLOGIA DA PESQUISA** 110

6 **RESULTADOS DA PESQUISA** 112

7 CONCLUSÕES 119

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 122

ANEXOS 129

1 INTRODUÇÃO

Os tecidos feitos com filamentos de poliéster de alta tenacidade são utilizados em todo mundo para diversas aplicações técnicas, dentre elas destaca-se um composto têxtil conhecido como ‘membrana para estrutura tensionada’. As coberturas feitas com ‘estruturas de membranas’ são assim chamadas, pois o material fica em constante tensão, com forças em equilíbrio em sua superfície, separando dois ambientes (lados interno e externo da cobertura) que se interagem continuamente. De maneira geral, na literatura é comum encontrar-se o emprego do termo ‘membrana’ quando se trata do material usado em estruturas tensionadas e do termo ‘lona’ quando são apenas tendas ou coberturas menos sofisticadas. A diferença entre os dois tipos de materiais está atrelada ao tipo de reforço, sua construção propriamente dita e do tipo de acabamento final. Nas ditas ‘membranas’, que, para simplificar, poderíamos chamar de ‘lonas de maior durabilidade e maior resistência’, tanto o tecido de poliéster quanto o tecido de vidro podem ser usados como tecidos estruturantes. No processo de fabricação, o tecido de poliéster é recoberto por cloreto de polivinila (PVC) e o tecido de vidro é recoberto por politetraflúoretileno (PTFE); um acabamento superficial será responsável pela maior durabilidade do produto e pela resistência às intempéries. Neste trabalho, seguindo-se a nomenclatura usual para o setor, serão adotados os dois termos, ou seja, ‘membrana de poliéster/PVC’ e ‘membrana de vidro/PTFE’ para designar ou dois principais grupos de compostos têxteis usados como materiais para cobertura de estruturas tensionadas.

O desenvolvimento tecnológico e o aparecimento de diferentes materiais atraíram interesses não só pelo lado funcional e prático, como ainda pelo lado estético e artístico das estruturas geradas. São estruturas com formas orgânicas, bonitas e visualmente impactantes. Em vários países do mundo, espaços para aeroportos, shows, eventos esportivos, estádios, exposições, festas, armazéns ou eventos de negócios, são montados usando-se esse eficiente e elegante sistema de cobertura. Basicamente, são dois grandes grupos de estruturas tensionadas que envolvem a utilização de tecidos de alto desempenho: as estruturas suportadas por ar, ou pneumáticas, e as estruturas suportadas por tensão (estruturas retesadas, tensionadas ou também chamadas de tensoestruturas).

As membranas de poliéster/PVC usadas na arquitetura têxtil (SEAMAN e BRADENBURG, 2000) são formadas por quatro componentes: o tecido de base (cru), camada de adesivo (*primer)*, camada de PVC e acabamento superficial com fluoreto de polivinilideno (PVDF) ou similar. Cada componente contribui para diferentes propriedades de desempenho do produto final; alguns com interferência em mais de uma propriedade. A membrana composta pelo tecido de poliéster espalmado com PVC mais um acabamento de superfície, é considerada um material compósito ou multi componente mais utilizado atualmente no mundo para a construção de estruturas tensionadas, e será o principal alvo deste trabalho.

As membranas feitas a partir de tecidos de vidro recobertos com PTFE são apontadas como excelente opção para estruturas permanentes. Porém, devido ao alto custo e à dificuldade de manuseio, podem não ser escolhidas como melhor opção, embora tenham algumas características superiores às membranas de poliéster/PVC. Com relação à tecnologia de produção do tecido, existem umas poucas tecelagens locais que trabalham com filamento de vidro e algumas raras empresas que fazem acabamento com PTFE. Entretanto, os artigos produzidos no Brasil são destinados a aplicações relacionadas com isolamento térmico e isolamento elétrico, e não para arquitetura têxtil. Se o material escolhido no projeto de estrutura tensionada for esse tipo de membrana (vidro/PTFE), a única opção possível atualmente é o produto importado.

No caso de artigos feitos com PES/PVC, estão à venda algumas opções de artigos produzidos localmente. Mais de uma dezena de tecelagens fabricam tecidos técnicos com filamentos de poliéster de alta tenacidade; algumas empresas podem aplicar o PVC através do processo de laminação. Predominantemente, os produtos de PES/PVC aqui fabricados são aqueles tecnicamente mais simples, quando comparados com as membranas para arquitetura têxtil. São ofertados diversos tipos de lonas de caminhão, lonas para piscinas, toldos e coberturas, lonas usadas para confecção de contentores flexíveis, cobertura lateral de caminhões (*sider trucks*) e galpões industriais.

No Brasil, quatro empresas estrangeiras e dois fabricantes locais oferecem produtos específicos para a montagem de estruturas tensionadas. A diferenciação entre os produtos deve-se a variações nas formulações dos componentes (PVC

e/ou aditivos), na construção dos tecidos, no processo de aplicação, no acabamento final e noutros detalhes que podem variar entre os fabricantes.

A utilização dos tecidos sintéticos na arquitetura têxtil continua evoluindo. Isso se deve a vários fatores: boa resistência às tensões de tração, versatilidade, facilidade de aplicação e disponibilidade no mercado. As seguintes razões são mencionadas por Henniche (2010) para se optar por esse tipo de solução arquitetônica: melhoria da qualidade estética, criação de uma atração visual e funcional através de uma boa variedade e diversidade de formas e estruturas, além de economia de material, economia de energia, e de melhor uso dos recursos (devido à possibilidade de reciclagem da membrana de poliéster).

Pode-se dizer que o uso desse tipo de arquitetura ainda é bastante tímido no Brasil, se compararmos com os Estados Unidos e alguns países na Europa. Mas, aparentemente e de acordo com as pesquisas preliminares, existe um potencial de crescimento deste segmento.

Com efeito, os dois eventos esportivos de grande porte que ocorrerão em 2014 e 2016 (Copa do Mundo e Olimpíadas, respectivamente), as perspectivas econômicas favoráveis, a possibilidade da produção local de matérias-primas e, principalmente, a falta de informações e conhecimentos específicos sobre o assunto, compõem um conjunto de fatores que justificam a realização do presente trabalho.

Com esse entendimento, o objetivo aqui é apresentar um panorama geral, citando as opiniões de autores e profissionais experientes a respeito desse tipo de solução de cobertura de espaços. Pretende-se também detalhar os diferentes tipos de materiais e suas características técnicas. O método adotado para o desenvolvimento desta dissertação foi baseado em dados bibliográficos e pesquisa de campo, na seguinte sequência:

1º Levantamento de informações sobre as estruturas feitas com material têxtil, em particular, as estruturas tensionadas, comumente denominadas ‘arquitetura têxtil’. Contém o histórico, termos, conceitos e definições relacionadas com esse tipo de solução arquitetônica em alguns países da Europa e Estados Unidos.

2º Detalhamento do material têxtil, das tecnologias de produção, dos tipos de membranas, suas principais características técnicas e seus principais fabricantes.

3º Visão geral do cenário brasileiro e contato com profissionais que atuam no segmento (empresas montadoras e fabricantes). Nessa etapa, foi realizada uma pesquisa qualitativa através da qual, catorze profissionais responderam a um questionário com perguntas sobre produtos, perspectivas futuras, além de pontos fortes e fracos desse tipo de aplicação.

4º Conclusões a partir da análise das respostas obtidas e uma comparação da visão mercadológica dos profissionais que atuam no Brasil com a visão dos profissionais que atuam no exterior, apontando convergências e divergências de opiniões a respeito da arquitetura têxtil feita com membranas de poliéster/PVC.

Espera-se desta forma, ter-se um conjunto de informações que possam contribuir para a geração e compartilhamento de conhecimento sobre um assunto pouco explorado dentro do próprio setor têxtil e ainda pouco difundido no Brasil.

2 A ARQUITETURA TÊXTIL

2.1 Histórico

Estudos de antigas comunidades ao redor do mundo mostram uma grande variedade de estruturas usadas para a cobertura de habitações ao longo da história da humanidade. Os materiais usados podiam variar de acordo com a região, a disponibilidade de material e a tecnologia dominada pelo povo da época. Existem então, registros de coberturas feitas com folhas, palha, cascas de árvores, argila e peles de animais, antes do uso de tecidos feitos em máquinas e suas evoluções.

As arquiteturas nômades, em geral, necessitavam de uma estrutura flexível e fácil de transportar, geralmente com formas geométricas simples (circulares ou quadradas), que permitiam fácil manipulação e passagem de geração para geração (BAHAMÓN, 2004). Segundo esse autor, vestígios de tendas foram encontrados na região onde hoje fica a Ucrânia, e datam de, aproximadamente, 40 mil anos, época em que os homens utilizavam ossos de mamute e peles de animais para montar suas tendas.

O pesquisador Drew (1979) cita achados arqueológicos na Moldávia nos quais foram encontrados ossos de mamute usados como estruturas de tenda; o sítio mais antigo dessa região tem, cerca de, 44 mil anos, e as tendas foram utilizadas por culturas paleolíticas em condições de muito frio. A presença de carvão dentro das habitações pode ser um indício de que essas tendas eram mantidas aquecidas. Ainda segundo o mesmo autor, os registros do Egito Antigo contêm referências à existência de tendas nômades e tendas reais. A primeira menção de uma tenda nessa região ocorre na época da Sexta Dinastia, correspondente ao período entre 2.625 e 2.475 a. C.

As estruturas em forma de domo feitas com bastões de madeira são umas das principais formas estruturais da arquitetura e foram utilizadas em muitas partes do mundo, seguindo tradições de povos por muitas gerações (BERGER, 2005). Este autor salienta ainda que as estruturas com formas de curvaturas acentuadas, com

arcos ou cabos suspensos, são muito mais eficientes em transmitir cargas estruturais do que as estruturas com vigas e treliças.

Carrió (1991), em seus estudos, escreve que, inicialmente eram usadas peles de animais apoiadas sobre troncos de árvores e, depois, as peles foram substituídas por tecidos que foram evoluindo ao longo dos anos. Ele acredita que o desenvolvimento dos dirigíveis e aeroplanos no começo do século XX estimulou a pesquisa das propriedades físico-químicas dos tecidos, fato que contribuiu para estudos do comportamento dos tecidos perante esforços de tração linear e biaxial.

Os primeiros exemplos de construção de tração no século XIX, entre os anos de 1824 e 1826, são os telhados de Bederich Schnirch, na antiga Tchecoslováquia (hoje República Tcheca e Eslováquia), e o vão central do telhado do Arsenal Naval de Lorient, na França, em 1840. Contudo, o exemplo mais notável de estrutura tensionada são as tendas projetadas pelo engenheiro russo V.G.Shookhov para a Feira Industrial de Nijny-Novgorod em 1896. (DREW, 1979).

No final do século XIX tem-se uma multiplicação de tendas e circos ambulantes chamados "*Chapiteau*". Em geral, eram feitos com lonas de linho ou de cânhamo e suportados por quatro mastros principais e postes fincados ao longo do perímetro da estrutura as quais mantinham a lona tensionada (FORSTER, e MOLLAERT, 2009).

Em 1932, por ocasião de um concurso para a construção do Palácio dos Soviéticos em Moscou, o arquiteto franco-suíço Le Corbusier propôs a inclusão de elementos tensionados para resolver o problema de cobrir uma grande área, sugerindo uma solução inovadora e não convencional para a época (FORESTI, 2005). Foresti relata que, para cobrir o amplo espaço do auditório principal, Le Corbusier imaginou um telhado composto por vigas dispostas radialmente, apoiadas no chão de um lado e suspensas por cabos na outra extremidade, formando um arco em forma de parábola do lado externo do edifício. Essa ideia não foi aprovada. Só depois de vinte anos que as estruturas tensionadas começaram a se desenvolver.

No projeto Pavilhão dos Novos Tempos, Exposição Internacional de Paris, o conceito de uma estrutura tensionada foi novamente aplicado por Le Corbusier

para construir uma grande tenda, para abrigar *stands* do evento. A estrutura era formada por torres e cabos, e coberta por uma membrana; mais parecida com as estruturas das pontes suspensas do que com o que chamamos hoje estrutura tensionada.

No final dos anos 40 do século passado, o engenheiro Walter Bird começou a desenvolver projetos de estruturas em formato de cúpula suportadas com ar e que evoluíram bastante entre os anos 60 e 80 desse mesmo século (KAWAGUCHI, 1995). O Pavilhão de Exposições em Raleigh, Carolina do Norte, Estados Unidos, em 1952, foi uma das obras iniciadoras do segmento de estruturas tensionadas. Introduziu o conceito de pretensão de dupla curvatura da superfície tensionada. A cobertura consistia de uma malha bidirecional de cabos que cobriam um vão de 95 metros entre dois arcos, inclinados entre si, formando um ângulo de 20 graus em relação à horizontal. Ela é considerada importante, pois nela encontram-se características fundamentais das modernas estruturas tensionadas, ou seja, o perímetro dos arcos suporta os esforços procedentes da malha de cabos que por sua vez, formam uma superfície de cobertura com dupla curvatura do tipo anticlástico (vide subitem 2.4 mais adiante). Tal estrutura foi considerada uma referência para várias obras na Europa, Rússia, China e também nos Estados Unidos.

Doutor em Arquitetura e Engenharia, Frei Otto é considerado uma referencia no setor de estruturas tensionadas. Frei Otto nasceu na Alemanha em 1925 e ainda está vivo. Em um campo de prisioneiros franceses, a necessidade de habitação e a falta de material, levaram esse engenheiro e arquiteto a pesquisar a fabricação de tendas para abrigo. O título de Doutor Engenheiro foi conquistado em 1954; um ano após, ele teve seu primeiro projeto levado à prática: o Pavilhão de Música de Kassel, a primeira estrutura de membrana têxtil com cabos de tração de borda (JOTA e PORTO, 2003). Otto projetou sua primeira estrutura com rede de cabos, junto com o colega Rolf Gutbrod, para a montagem do Pavilhão Alemão para a EXPO de Montreal 1967, que é considerada uma referência tanto arquitetônica quanto estrutural. Foram dez mil metros de tecido de poliéster recoberto com PVC, suspensos por uma rede de cabos (FORSTER e MOLLAERT, 2009).

Em 1964 Frei Otto fundou o *Institute of Lightweight Structures at the University of Stuttgart*, onde ele começou um movimento de pesquisa interdisciplinar, envolvendo engenheiros, biólogos, físicos e filósofos. A extensa pesquisa realizada nesse instituto envolvia cabos, membranas, pneumáticos, estruturas de árvore e várias outras combinações. Estas combinações geraram uma abundância de possibilidades criativas, estruturais e funcionais de tal modo que as estruturas convencionais ou não podem fornecer, ou só fornecem parcialmente (HENNICKE, 2010). Frei Otto também liderou o projeto do estádio dos Jogos Olímpicos de Munique de 1972, que marcou o inicio dos ensaios com maquetes e programas de computador para o cálculo do comportamento e capacidade das estruturas.

Para Berger (2005), desde o início Frei Otto entendeu os princípios indispensáveis da tecnologia de construção, ou seja: as formas estrutural e arquitetônica são inseparáveis; a flexibilidade é uma força e não uma fraqueza; o material de cobertura pode ser mais “dobrável” do que os elementos que o suportam.

Este criativo e engenhoso arquiteto Frei Otto também é mencionado por Bahamón (2004) ao dizer que ele marca um ponto de virada da arquitetura moderna, especialmente no estudo da arquitetura têxtil. Bahamón avalia que muitas das suas obras serviram de ponto de partida para o uso de uma linguagem com termos tais como: paraboloides hiperbólicos (explicadas no subitem 2.4), ancoragens, nós e tensores; termologia que iria ser incluída no vocabulário do segmento dos anos cinquenta e que permanece até o presente.

Entre os anos 1960 e 1980 ocorreu o desenvolvimento mais significativo das estruturas feitas com membranas têxteis. Os engenheiros David Geiger e Horst Berger podem ser mencionados como profissionais que deram importante contribuição para o desenvolvimento de estruturas com membranas e estruturas tensionadas. Enquanto Geiger concentrou-se nas estruturas pneumáticas, Berger trabalhou nas estruturas tensionadas com membranas (KAWAGUCHI, 1995).

Uma das obras mais impactante e conhecida é o *Hajj Terminal,* no Aeroporto Internacional de Jeddah (construído entre 1980 e 1982) na Arábia Saudita. O projeto teve a participação de Horst Berger, em conjunto com o fabricante do

tecido e com uma equipe da empresa montadora. Outras obras importantes desse engenheiro são: o Pavilhão *Tennesse* em Knoxville, o estádio de *King Fadh in Riyadh*, o Canadá Place em Vancouver/CA e o aeroporto Denver, Colorado/EUA.

Segundo Carrió (2011), as estruturas historicamente mais conhecidas são as tendas dos povos nômades, as lonas de circo, as velas dos barcos e os toldos das regiões urbanas; sempre com a percepção de estruturas temporárias e de certa forma, "vulneráveis". Mas, sem dúvida, nos anos 60 do século passado, começa uma nova era da arquitetura têxtil, com inovações e o aprimoramento dos materiais (tecido e proteção). Desenvolve-se assim, o conceito de "membrana", além da introdução de programas de computador para execução dos cálculos.

Um passo avante mostra que o Pavilhão dos Estados Unidos na Expo 1970 em Osaka foi feito com uma membrana de tecido de vidro recoberta com PFTE (*Teflon*®). Foi um trabalho conjunto entre as empresas *Birdair, Owens-Corning*, Du-Pont e *Chemical Corporation* (*Chemfab*). Assim nasceu a membrana de vidro com PTFE, chamada *Sheerfill Architectural* como registra Chivante (2009). A empresa Chemfab foi comprada pelo *Saint-Gobain Performance Plastics* que, atualmente, comercializa a marca *Sheerfill*® de membranas de vidro/PTFE.

De alguns anos para cá, vários países e muitos profissionais já tratam as membranas têxteis como sendo o quinto material de construção, vindo logo após dos quatro grupos conhecidos: pedras, madeiras, metais e vidro. O trabalho de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias nesse setor tem sido constante; envolve municípios, empresas construtoras, fabricantes de membranas e cabos, além de, é claro, universidades e profissionais do segmento. Jota e Porto (2004) em seus estudos relatam que a fase contemporânea, a partir dos anos 1970, é marcada por grandiosas estruturas que cobrem pavilhões, aeroportos e estádios de futebol. Eles mencionam:

> Nos anos 90 e no começo do século XXI, tem continuidade o desenvolvimento das duas últimas décadas, iniciando com o uso de softwares computacionais, do mesmo modo que com o surgimento de novas membranas de alta resistência e maior durabilidade. É um período marcado pela facilitação do acesso à alta tecnologia computacional e pela contínua pesquisa por materiais ainda mais resistentes ao tempo (JOTA e PORTO, 2004, p.17).

O engenheiro Knut Göppert, em 16 de outubro de 2010, em entrevista para Heloisa Medeiros da revista brasileira *Finestra*, ressalta que, nos últimos trinta anos, a “membrana PTFE protegida com Teflon®” é uma das soluções mais adequadas aos edifícios permanentes, por sua maior durabilidade, estabilidade estrutural e propriedades autolimpantes. Elas exigem, no entanto, maior especialização, tanto no cálculo estrutural quanto na execução diz Göppert: "Em forma de tela, a membrana tem uma variante interessante de utilização, nas faces internas da cobertura, como no novo estádio da Cidade do Cabo, para a Copa de 2010, na África do Sul.Ela possibilita melhor desempenho acústico e cria uma atmosfera agradável ao espectador, além de proporcionar melhor acabamento da face interna e das instalações do entre forro”.

2.2 Significado dos termos

Como acontece em vários setores, nem sempre os termos, os significados e as definições são bem entendidos por todos aqueles que neles trabalham. No caso do assunto que aqui está sendo estudado, o fato de ser um campo que envolve uma multidisciplinaridade, parece acentuar mais ainda a tendência de divergência de opiniões ou a falta de uniformidade de entendimento de alguns conceitos. O termo ‘arquitetura têxtil’, por exemplo, é usado atualmente em diversos países, mas, seu significado não é entendido da mesma forma pelos profissionais do setor; existe aparentemente certa discordância entre alguns profissionais e estudiosos do assunto. Aliás, esse fato motivou a inclusão de uma pergunta sobre a definição dessa expressão na pesquisa de campo relacionada com este trabalho. A maioria dos entrevistados respondeu que ‘arquitetura têxtil’ pode ser aplicado para ‘estruturas tensionadas, tendas e coberturas em geral, feitas com membranas e lonas’; outros entrevistados escolheram a opção que diz que a ‘arquitetura têxtil envolve apenas as estruturas tensionadas feitas com membranas’; e alguns ainda deram outras definições, o que evidencia a não uniformidade de opiniões em relação ao termo. O resultado da pesquisa no Brasil está detalhado no item 6 desta dissertação.

Neste subitem estão reunidos alguns dos conceitos e explicações citados por alguns autores e estudiosos do assunto, dentre eles engenheiros, arquitetos e profissionais do setor. Aparentemente, a divergência deve-se ao fato de as pessoas não estarem falando exatamente sobre as mesmas coisas e, por isso, apresentam abordagens distintas. Dessa forma, procurou-se apresentar os conceitos de alguns termos básicos, dentre eles 'arquitetura têxtil, 'membrana' e 'estruturas tensionadas'.

A arquitetura têxtil, segundo o arquiteto doutor Juan Monjo Carrió (1991), tem características que a diferenciam, em relação à arquitetura convencional, e que não se baseiam apenas na tecnologia do material têxtil, mas na sua concepção, desde a fase do projeto, seu aspecto formal, composição e aspecto funcional. Toda solução arquitetônica (definição e envolvimento de espaços habitáveis) que utiliza como principal material o artigo têxtil (em geral a membrana) pode ser chamada de 'arquitetura têxtil'. Do ponto de vista tecnológico, as membranas têm características mecânicas que permitem o máximo aproveitamento se levarmos em consideração seu peso e custo. A base fundamental para a estabilidade e integridade da estrutura está na manutenção de uma tensão suficiente e adequada em todos os pontos do tecido (em todas as direções).

Conforme o arquiteto e especialista Javier Tejera Parra (2011) o termo "arquitetura têxtil" é aceito internacionalmente como uma adaptação do vocábulo inglês "*tensile architecture*" que, traduzido literalmente, significa "arquitetura tensionada" ou, mais precisamente, uma condição estrutural e um estado de tensão dos materiais utilizados. Nem sempre são usados têxteis neste tipo de arquitetura (às vezes, são utilizadas lâminas plásticas, por exemplo). E, da mesma forma, o fato de se usar um material têxtil, não significa que a obra possa ser chamada de "arquitetura têxtil". Para esse profissional, é possível fazer-se arquitetura têxtil, utilizando-se os seguintes materiais: tecidos, membranas, películas (ou lâminas) e malhas (estruturas) de cabos.

Coberturas temporárias, barracas, toldos, tendas, circos e muitos outros tipos simples de coberturas feitas com artigos têxteis (tecidos, lonas e similares) são para o doutor arquiteto Llorens (2004), os antecedentes mais imediatos da chamada 'arquitetura têxtil atual'. São tipos de estruturas que ficaram à margem

da história da arquitetura e dos livros de construção. Mas, para muitos, elas fizeram parte do caminho de acesso para projetos e construções de estruturas maiores, mais duradouras (às vezes de caráter permanente), e proporcionaram uma infinidade de detalhes construtivos e soluções de montagem que continuam em vigor na atualidade. Para esse arquiteto espanhol, os primeiros exemplos notáveis de arquitetura têxtil na Espanha começam aparecer desde 1971, e tem sua maturidade entre os anos 1980 e 1990 quando se começa a projetar a partir do conhecimento mais 'explicito' dos princípios das estruturas tensionadas (tração+ dupla curvatura + pré-tensão).

Na esteira dos esclarecimentos conceituais, outro exemplo da utilização do termo 'arquitetura têxtil' pode ser observado no caso da Universidade de Madri. Em conjunto com a escola *Structuralia*, com apoio da Tensinet e do fabricante Serge Ferrari, esta instituição oferece um curso nesta área intitulado 'Arquitetura Têxtil – Desenho e construção de estruturas tensionadas'. Em função da carga horária, o aluno poderá obter o diploma de *Experto, de Especialista ou de Master* em Arquitetura Têxtil. Um dos professores de um dos módulos, o conceituado e conhecido internacionalmente, professor doutor arquiteto Félix Escrig (2011) explica da seguinte forma a principal característica desse tipo de solução construtiva: 'A arquitetura têxtil se baseia em esforços exclusivamente de tração e por isso sua estabilidade é conseguida através de elementos de tração'.

A engenheira Rita Bose, que profere palestras sobre o tema e atua no segmento, dá a seguinte definição para o termo arquitetura têxtil, ao responder o questionário para este trabalho: 'Estruturas tensionadas, tendas, coberturas em geral que utilizem tecidos técnicos como membranas (PVC, PTFE, etc.) filmes ou películas de PTFE e outros'.

Com relação ao termo 'membrana', segundo definição do dicionário Infopédia [(1)] , na engenharia, 'membrana é uma peça laminar não plana, sujeita a esforços existentes apenas nos planos tangentes ao seu folheto médio'. No caso do presente estudo, sempre que se menciona a palavra 'membrana' isolada ou nos termos 'estruturas de membrana' e 'membranas arquitetônicas', a membrana

(1) Infopédia.pt - Enciclopédia e Dicionário.Porto Editora, Porto, Portugal 2003-2012.

refere-se ao compósito têxtil formado por um tecido estruturante e uma resina plástica (em geral, tecido de poliéster com PVC ou tecido de vidro com PTFE) que é usado em estruturas tensionadas na cobertura de espaços. Na realidade, esse material de cobertura chamado de 'membrana' é formado por tiras do compósito têxtil, acima mencionado, 'coladas' ou 'soldadas' umas as outras de maneira que se forme uma 'superfície' que irá reagir como uma 'membrana', ou seja, que fica constantemente sujeita a esforços tangentes à sua superfície e em equilíbrio.

O arquiteto Drew (1976) de sua parte cita que as membranas são iguais ou desiguais em todas as direções de cargas normais, isto é, isotrópicas ou anisotrópicas. Materiais como borracha, folhas de plástico, resina de vidro e resinas de fibras sintéticas são em geral considerados como materiais possuidores de propriedades isotrópicas. No entanto, tecidos de algodão, tecidos sintéticos e tecidos de vidro são, geralmente, anisotrópicos. Isso acontece devido ao fato dos fios de urdume e trama de os tecidos reagirem de modo diferente às cargas de tensão nos dois sentidos ortogonais de direção dos fios. Além disso, existe uma falta de simetria, pois a tensão na direção do urdume é menor do que a tensão na direção da trama.

As membranas isotrópicas só podem adquirir deformações tridimensionais quando o material é submetido a tensões elásticas e permanentes. Já as membranas feitas com tecidos anisotrópicos, elas lembram rede de cabos e, portanto, podem ser deformadas para formar superfícies sinclásticas ou anticlásticas.

A deformação tridimensional é acomodada pela distorção angular das malhas formadas pelos fios perpendiculares entre si ou como cabos de forma romboide. A padronagem, que consiste nas tiras de material de diferentes formatos e tamanhos (mais detalhes no item 3), viabiliza a formação de superfícies tridimensionais de dupla curvatura. Esse padrão, formado mediante tiras soldadas (ou coladas), transforma-se numa abstração matemática que define a forma orgânica da membrana.

As construções com membranas têm se desenvolvido ao longo dos anos com diferentes estruturas, diferentes formas e tamanhos, de maneira a se tornar um campo autônomo de engenharia civil (BUBNER, 2005). Em contraste com as

tendas simples, nas quais o tecido predominantemente tem apenas a função de cobrir uma estrutura de suporte, nas estruturas tensionadas as membranas são autossustentáveis, pois a transmissão das cargas exercidas pelo vento e pela neve, quando houver, é assegurada pela curvatura e pretensão da membrana.

O arquiteto Santomauro (2008) considera que a arquitetura com membranas permite um melhor aproveitamento dos materiais e suas características mecânicas, além de gerar novas formas mais orgânicas e com um perfeito equilíbrio estático; em contrapartida, exigem um planejamento arquitetônico diferenciado.

No texto de apresentação do guia intitulado "Arquitetura Textil - *Guía Europeo de Diseño de las Estructuras Superficiales Tensadas*" o espanhol, arquiteto e doutor em arquitetura Juan Monjo Carrió (2009), já citado em páginas anteriores, manifesta-se da seguinte forma sobre as estruturas tensionadas:

> As estruturas tensionadas, e as têxteis em particular, são uma parte importante da nossa cultura e tradição (desde as velas mediterrâneas até os atuais guarda-chuvas, passando por funcionais toldos) que tem sua aplicação clara na arquitetura e na edificação, mas exigem um conhecimento específico para sua correta aplicação e incorporação nos projetos (CARRIÓ, 2009, p.5).

A pesquisadora e estudiosa sobre o assunto no Brasil, professora doutora arquiteta Sasquia Obata (2010), esclarece em sua tese de doutorado que os conceitos de 'arquitetura têxtil e tensoestruturas complexas' estão relacionadas com a tecnologia construtiva no ramo das estruturas leves e de membranas e são considerados como elementos da construção civil. Em sua tese, ela menciona que utilizou o termo arquitetura têxtil devido à "necessidade premente desta tipologia e sistema construtivo ser entendido como uma obra da construção civil que exige de fato as atividades projetuais arquitetônicas e não somente o estudo e projeto sob o caráter de estrutura tracionada – tensoestrutura". Ela também cita que, apesar de presente desde os primórdios, as "arquiteturas têxteis e estruturas tensionadas' se configuram em uma nova forma e, portanto, um novo elemento, que não possuem ainda uma definição formal e normatizada". Obata (2010) dá a seguinte sugestão de descrição para os termos "arquitetura têxtil e estruturas tensionadas":

> São sistemas construtivos gerados pela associação de elementos superficiais de espessura extremamente reduzida, como membrana, pele, filme têxtil ou tecido, estabilizados por adequado tracionamento, podendo ser suportados por elementos lineares como cabos e/ou barras ou mesmo por outros sistemas estruturais. (OBATA 2010, p.25).

Já o estudioso e especialista no assunto, professor doutor Pauletti (2009), prefere usar o termo 'estruturas retesadas', ao invés dos termos estruturas tensionadas, ou arquitetura têxtil. Ele dá a seguinte definição: "São aquelas estruturas que, para funcionarem a contento, dependem de seus elementos estarem retesados, e não frouxos". O mesmo autor, em trabalho de 2001 (pág.3), explica que "o peso específico' típico das estruturas de cabos e membranas é, grosso modo, duas ordens de grandeza menor que o das estruturas de concreto armado e uma ordem menor que o das estruturas convencionais em aço" (PAULETTI, 2001)

As oportunidades para a arquitetura têxtil estão nas estruturas para cobertura de grandes espaços nos quais se queira muita luz e um teto com potencial de se criar formas complexas (curvas). Com essa importante característica de leveza e com possibilidade de um teto "flutuante", tornaram-se uma solução preferida para a cobertura de grandes espaços contínuos, tais como aeroportos, salas de exposições e estádios. (MCCARTY, 2005).

2.3 Cenário Mundial

Para se escrever o que se passa ao redor do mundo sobre estruturas tensionadas feitas com membranas têxteis desde os anos 1960 até os dias atuais, seriam, sem dúvida, necessárias várias páginas. Neste trabalho, estão citados apenas alguns exemplos encontrados durante a pesquisa e que chamaram a atenção pela beleza arquitetônica, pelo impacto visual, pela sua importância como referência para o assunto e/ou simplesmente pela grandiosidade e complexidade da obra em si. A maior parte dos exemplos abaixo mencionados são obras de grande porte, de caráter permanente, feitas com diferentes tipos de membranas e em diversos países. Pode-se começar por duas obras mais antigas realizadas por um dos precursores da arquitetura têxtil, o arquiteto alemão, já mencionado, Frei

Otto. São elas: a cobertura do Pavilhão alemão da EXPO 67 em Montreal, e a cobertura do estádio Olímpico de Munique 1972. Esta última foi concebida por Frei Otto em parceria com Jörg Schlaich, engenheiro civil, também alemão.

Em outro estudo o engenheiro Pauletti (2003), acima referido, menciona que os edifícios dos jogos olímpicos e das feiras mundiais sempre apresentaram novidades tecnológicas e ajudaram a disseminar o interesse do público por este tipo de estrutura. Além das obras de Montreal e de Munique, ele cita como referências as obras realizadas para a **Expo'70** em Osaka (Japão) e da **Expo'92** em Sevilha (Espanha). Alguns exemplos mais recentes são: o **Estádio Olímpico de Foshan** (China) (Figura 1); ***World Cup*** em Seul (Coreia); **Shanghai Messe**, (China); ***Harbin Sports Stadium***, Harbin, (China) (2007); estruturas na **Expo 2008**, Zaragoza (Espanha); ***The Moses Mabhiba Stadium*** em Durban, e **Nelson Mandela *Bay Stadium*** em Porto Elizabeth (África do Sul) construídos para a Copa do Mundo FIFA 2010.

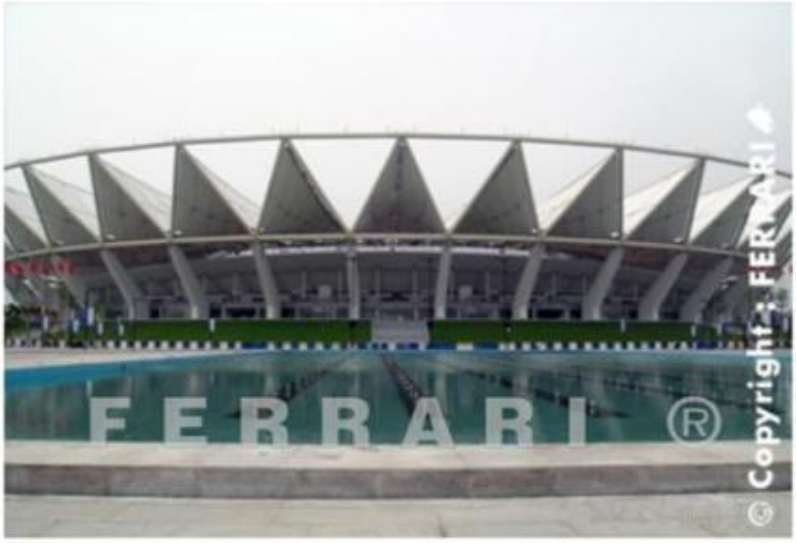


Figura 1 – Estádio Foshan, China – foto da empresa Serge Ferrari
Fonte: http://www.ferrari-architecture.fr/outilPrescripteur
Acesso em 25/9/2011

Além de obras para estádios e feiras mundiais, seguem outros exemplos de estruturas permanentes de grande porte e visual impactante: o **Aeroporto Internacional de Denver** (com 35.000m²) (Figura 2), Colorado (EUA); o ***Hajj Terminal*** *no 'The King Abdul Aziz Airport'*, Jeddah (Arábia Saudita) (Figura 3); o

Millenium Dome (Figura 4), Londres (Inglaterra), o ***M&G Research Laboratory***, Venafro (Itália), e mais recentemente o *Bangkok International Suvarnabhumi* (Tailândia).

Figura 2 – Aeroporto de Denver, Colorado, EUA.
(Fonte: banco de imagens do *site* 'Denver International Airport')
http://business.flydenver.com/info/news/imageLibrary.asp Acesso em 25/9/2011

O ***Hajj Terminal*** (Figura 3) foi construído em 1981 e tem uma área coberta de 440.000 m². Devido às altas temperaturas do local e imenso espaço a ser coberto a melhor solução encontrada foi montar a cobertura com estruturas tensionadas feitas com membranas de vidro/PTFE. A estrutura é composta por dez módulos de 320mX170m. Cada módulo, por sua vez, é formado por vinte e uma estruturas em forma de cones (conoides de base quadrada: 45,75mX45,75m), totalizando duzentas e dez 'tendas'. O engenheiro Horst Berger e a empresa Owens Corning Fiberglass trabalharam no projeto e construção desse teto; Berger (2005) diz que essa obra foi um dos maiores desafios de sua carreira.

Figura 3 - Hajj Terminal, Jeddah International Airport, Arábia Saudita.
Fonte: Tensinet http://www.tensinet.com/database/viewProject/3859.html
Acesso em 17/10/2011.

Outra obra de grande porte, que também usa membrana de vidro com acabamento de PTFE, é o ***Millenium Dome*** (atual ***O2 Arena***) (Figura 4), em Londres, com área coberta de 100.000m², com 346m de diâmetro, 50m de altura (com mastros chegando a 100m) e vão livre de 200m (ESCRIG e SANCHES, 2005).

Figura 4 – Domo do Milênio, Londres (Inglaterra) – Fonte: autora.

Mais alguns exemplos pelo mundo: ***Canada Place***, Vancouver, Canadá; Sherway Gardens, Toronto (Canadá) (Figura 5); ***Rosa Parks Bus Station***, Detroit, Michigan (EUA); ***Sky Song Arizona State University***, Tempe, Arizona (EUA); ***The Tubaloon*** na cidade Kongsberg (Noruega); ***Leipzig Airport***, Alemanha; ***Las Vegas Premium Outlet Mall***, (EUA); ***Royal Melbourne Showgrounds***, Melbourne (Austrália); ***Outlet Village Retail***, Ashford (Inglaterra); ***Shopping Xanadu***, Madri (Espanha); *Al Shatee Mall e Marina Mall*, ambos em Dammam, (Arábia Saudita); ***Clark Quay Shopping Mall*** (Singapura); ***Yamuna Vihar Sports Complex***, Nova Deli (Índia); ***Castle Kufstein***, Kufstein (Austria) (estrutura retrátil); ***Palm Springs Airport***, California (EUA); **Praça de Touro de Jaén** (Espanha); ***Florida Festival Building***, em Orlando (EUA); ***Dynamic Earth Centre***, Edimburgo (Escócia); ***Hotel Burj Al Arab***, Dubai (Emirados Árabes).

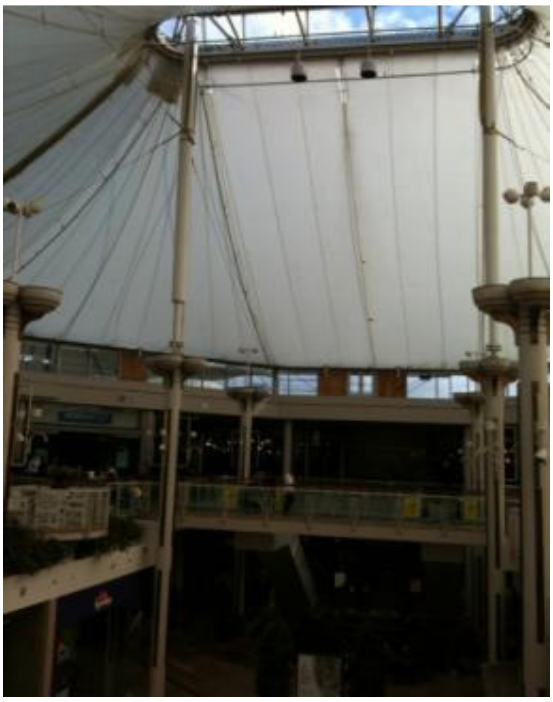


Figura 5 – *Sherway Gardens Mall*, Toronto (Canadá). Foto: E.Klein

Aparentemente não existe uma tendência por um tipo específico de estrutura em detrimento de outro; são diversas formas, diferentes tamanhos e variados tipos. Podem ser conoídes simples, duplos, múltiplos ou, ainda, paraboloides hiperbólicas, formas mistas, curvas, retráteis, infláveis, uma infinidade, enfim, de

combinações e opções fabricadas com membranas de PES/PVC, vidro/PTFE e, às vezes, com lâminas de ETFE. Outros materiais são raramente utilizados. Além da variedade de formas, alguns autores mencionam a preocupação com o meio ambiente e sustentabilidade, bem como a arquitetura têxtil está inserida neste tema, o que será abordado no subitem 2.6.

Voltando a Berger (2005), ele afirma que mais recentemente houve um maior interesse por parte de profissionais pela arquitetura têxtil. Neste aspecto, cita o arquiteto Michel Hopkins e os engenheiros Harold Mühlberger, Massimo Majowiecki, Mamuro Kawaguchi e Mathis Levy, que produziram trabalhos interessantes em estruturas têxteis.

A literatura, de maneira geral, aponta diversas vantagens para a arquitetura têxtil, indicando que é um setor em contínua expansão, com lançamento de novos acabamentos, novos processos e grandes projetos ao redor do mundo. Incluindo nesse horizonte os simpósios, as conferências e as feiras que são realizadas com regularidade, mostrando um ser um segmento em constante evolução.

2.4 Forma e Estrutura

As membranas ou telas arquitetônicas são materiais flexíveis, de pouca espessura, apenas resistentes a esforços de tração; normalmente são compósitos constituídos por um tecido de base e uma resina de revestimento; Mendonça (2005) afirma que a maneira como uma membrana se mantém estável e a sua forma são indissociáveis. Ele explica, em sua tese de doutorado, que as formas podem ser de três tipos: planas, sinclásticas e anticlásticas. E as membranas, por serem pouco espessas, têm uma resistência praticamente nula à compressão, o que implica que a sua forma seja determinada de uma maneira extremamente precisa, para que todas as cargas aplicadas possam ser distribuídas apenas em esforço de tração.

A *Fabric Structures Association* (FSA), que é uma divisão da *Industrial Fabrics Association International* (IFAI), tem como objetivo promover o uso e o

crescimento das estruturas têxteis e visa representar os interesses e preocupações deste setor nas Américas. Essa entidade também define as estruturas têxteis como sendo estruturas caracterizadas por terem uma massa bastante pequena em relação à carga aplicada, que é determinada através de um processo de equilíbrio. Existem diferentes tipos de estruturas: infláveis, suportadas por ar, cabos e redes, cúpula geodésica, conchas, cabo e estrutura (*tensegrity*) e estruturas tensionadas (*tensile structures*).

Elias (2002), em seus estudos sobre membranas tensionadas, afirma que as tensoestruturas se dividem em três grupos: estruturas tensionadas de membrana, estruturas tensionadas de 'malha' (estruturas metálicas) e estruturas pneumáticas. As coberturas tensionadas são estruturas constituídas por membranas nas quais atuam esforços apenas de tração. Por possuírem espessura muito delgada, as membranas não oferecem resistência à compressão ou à flexão, elas ofereceram uma combinação de formas limpas e atraentes, com formas orgânicas inspiradas na natureza que podem lembrar ondas, nuvens ou montanhas.

Estruturas com curvas acentuadas e bem formadas com arcos ou cabos suspensos são muito mais eficientes na transmissão de cargas superficiais do que elementos estruturais, como vigas e treliças. A forma adequada é aquela que está em equilíbrio total com as cargas às quais está submetida. O problema das estruturas flexíveis é que a forma muda quando as cargas mudam (BERGER, 2005).

As estruturas trabalham em regime de tração constante e não admitem compressão, nem nas membranas nem nos cabos. As superfícies curvas geradas poderão ser de simples ou dupla curvatura. Podem ser sinclásticas e anticláticas, sendo estas últimas as de maior rendimento estrutural frente à aplicação de cargas externas. As superfícies de dupla curvatura anticlásticas são aquelas que, ao serem seccionadas mediante dois planos verticais ortogonais entre si, em qualquer ponto da sua superfície se obtêm dois arcos de circunferência, com concavidades de sinal oposto, enquanto que nas de dupla curvatura sinclásticas, se obtêm concavidades de mesmo sinal (SANTOMAURO, 2008).

Os quatro tipos básicos mais usados de formas anticlásticas são: o cone, a paraboloide em forma de sela de montar, a paraboloide hiperbólica e a paralela. É comum também o uso de formas híbridas ou combinações delas. A Figura 6 exemplifica algumas destas formas.

A maioria das estruturas têxteis contemporâneas tem como base uma geometria "anticlástica"; elas são formadas por um conjunto de elementos tracionados em forma de "arcos" que atuam opostamente em relação a um conjunto de elementos "suspensos". Fisicamente os dois conjuntos representam as direções dos fios de urdume e trama que estão no interior da membrana (CARRIÓ, 2011).

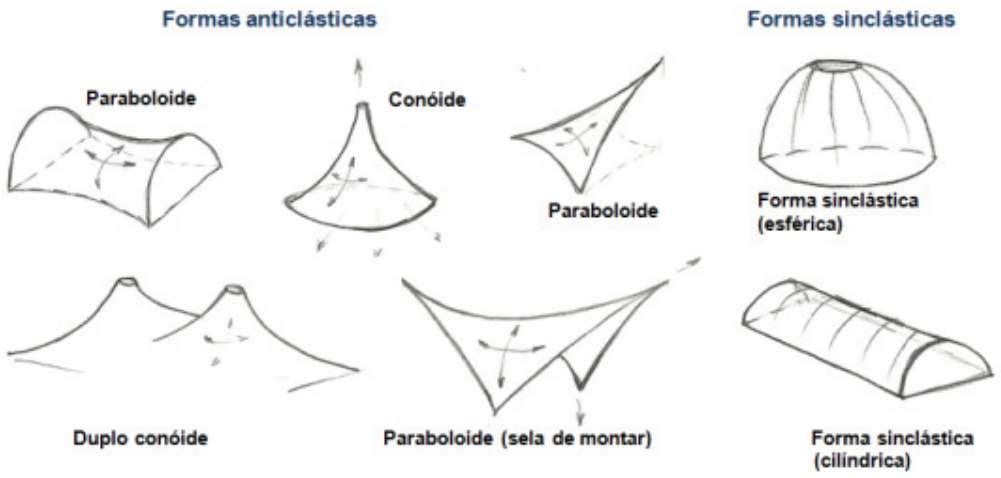


Figura 6 – Formas de estruturas tensionadas – Adaptado de CARRIÓ (1991).

As formas anticlásticas dão origem a uma grande variedade de outras formas, que possibilitam a existência de tensões múltiplas em sentidos e planos opostos em cada ponto da membrana, dando-lhe estabilidade, conforme já explicado por outros autores nos parágrafos anteriores. Essas tensões podem agrupar-se em "esforços para cima" e "esforços para baixo" no conjunto da cobertura, e percorrem toda membrana, desde os pontos de apoio mais altos até os pontos de ancoragem; são os pontos que introduzem as correções pertinentes para se alcançar a estabilidade. A busca do equilíbrio das tensões na membrana está relacionada com a curvatura em cada ponto da superfície e também com as pretensões de estabilização aplicadas no processo de montagem da estrutura (CARRIÓ, 1991).

No artigo intitulado “Coberturas com membranas”, publicado pela revista *Téchne* n°169 abril de 2011, o professor Pauletti comenta que as formas mais utilizadas são as conoides, a superfície em forma de sela de montar (formada por dois arcos deslocados em paralelo) e as paraboloides hiperbólicas (semelhantes a uma vela de barco de quatro pontos). Nessa mesma revista Rocha acrescenta:

> Em geral, usam-se as membranas para cobertura de grandes espaços. Para pequenos espaços, ela vai ser até mais cara do que uma solução convencional. Para médios espaços, ela passa a ser competitiva, mais vai ser mais uma opção estética ou do próprio arquiteto, do que uma opção financeira. Agora para grandes espaços as mantas são as soluções mais econômicas, porque consomem menos material, têm quase zero desperdício e são mais fáceis de executar (PAULETTI apud ROCHA, 2011, Revista Téchne, n°169, p.2).

As estruturas pneumáticas são membranas sinclásticas tensionadas, estabilizadas pela diferença de pressão em toda a superfície. A diferença de pressão é gerada por ventiladores que impelem o ar para o interior da superfície hermeticamente fechada (pressão de ar positiva). Existe também a estrutura pneumática com pressão de ar negativa (pressão interna menor que a pressão externa); nesse caso, faz-se necessário utilizar uma estrutura interna (formando um esqueleto para a membrana) (BRADATSCH *et al*., 2009).

Explicação semelhante é dada por Pauletti (2001) para as estruturas pneumáticas. Ele explica que são aquelas nas quais todos os elementos trabalham submetidos à tração e podem ser classificadas basicamente em: estrutura insuflada (pressão interna maior que a pressão atmosférica, gerada por ventiladores); estrutura aspirada (pressão interna menor do que a pressão externa) e estrutura inflada, que usa balões pressurizados, em forma de vigas, colunas ou arcos, como elementos estruturais. Ele menciona ainda que as velas de barcos e os paraquedas podem ser chamados de sistemas pneumáticos abertos.

Mais uma vez servimo-nos do professor doutor Pauletti. No artigo intitulado “Alivie a tensão”, publicado na revista ***Téchne*** n°35 de julho de 1998, ele explica que a “determinação da forma e dos padrões de corte das membranas são pontos

fundamentais da análise das tensoestruturas", implicando a necessidade de uma perfeita integração entre o trabalho do analista e do projetista.

Carrió (1991) por seu lado comenta que a base fundamental para a estabilidade e a integridade da estrutura está na manutenção da tensão de uma tração suficiente e adequada em todos os pontos do tecido. Esse mesmo autor usa as seguintes palavras para falar sobre os projetos e cálculos deste tipo de arquitetura:

> A tridimensionalidade das estruturas de membrana de dupla curvatura faz com que seja impossível um projeto realizado somente com lápis e papel. Para estudar a sua aparência e a forma de uma cobertura, bem como definir seus cálculos geométricos precisos e padrões de corte adequados, é necessário criar-se modelos tridimensionais. Métodos físicos e numéricos são importantes porque cada um deles oferece informações para o desenvolvimento do conceito de design (CARRIÓ, 2011, p.24).

A 'busca da forma', como quer Carrió, faz parte do processo de elaboração do projeto, sendo que, para Sastre (2011), essa etapa é muito importante e se faz necessária porque nem todas as formas obtidas através de um programa de CAD (do inglês ***C**omputer **A**id **D**esign* – cuja tradução é: desenho auxiliado por computador) são formas possíveis de serem montadas com membranas têxteis. Uma vez que toda a superfície deverá estar tensionada, é preciso que alguns requisitos sejam cumpridos: superfícies de dupla curvatura são tensionadas por forças externas; superfícies de simples curvatura são submetidas a forças uniformes perpendiculares à superfície; e formas planas também são submetidas a forças externas. As formas planas não são aconselhadas para tal tipo de arquitetura, pois poderá ocorrer uma grande deformação e fadiga do material devido à necessidade de forças muito grandes.

Diferentes métodos de 'busca da forma' podem ser utilizados. Sastre (2011), em sua apostila sobre arquitetura têxtil, menciona o **método geométrico ou matemático** (utiliza geometria 3D conhecida; cones, cilindros, esferas); o **método de bolhas de sabão** (constrói-se o perímetro e aplica-se o sabão e, em seguida, fotografa-se a forma obtida); o **método de construção maquetes** (modelos físicos feitos com tecidos com elastano) e o **método de simulação por deformação elástica,** ou simulação por densidade de força (por computador).

A expressão das qualidades pode ser resumida pela frase: “menos é mais, e a melhor maneira de se conseguir mais com menos é através das estruturas com membranas tensionadas” (BRADATSCH *et al.*,2009). Esses autores também explicam que o processo de busca da forma das estruturas começa com a definição do traçado da área que se quer cobrir, bem como a disposição dos suportes internos e externos, e as condições das bordas dentro das quais se supõe que vá ocorrer o equilíbrio da superfície de membrana. As tensões de trabalho dos materiais são inversamente proporcionais aos raios de curvatura; maior curvatura, menor esforço e, consequentemente, estruturas mais leves.

É relativamente comum o uso de estruturas com duas camadas de membrana. Tal recurso proporciona as seguintes vantagens: redução da transmissão de calor, redução do risco de condensação, controle da transmissão da luz solar, melhora das características acústicas e proteção ignífuga adicional. As duas membranas ficam separadas por uma camada de ar, que irá permitir a redução da transmissão de calor por convecção entre a membrana exterior e o espaço interno, e também irá evitar a formação de condensação no interior da membrana. A membrana interna pode ser bem mais leve do que a externa (LLORENS, 2011). Essas mesmas vantagens, de igual modo, são mencionadas pelos autores Chilton *et al.*(2009).

2.5 **Beleza, funcionalidade e modernidade.**

Na arquitetura têxtil, como em toda arquitetura, a tríade Vitruviana também deverá ser cumprida, isto é, *firmitas, utilitas e venustas*. Essa tríade foi apresentada pelo arquiteto e engenheiro Vitruvio (27 a 16 a. C.), como sendo os três elementos fundamentais da arquitetura, referindo-se a solidez (integridade), funcionalidade e beleza. Carrió (2011) afirma que, para se assegurar que a tríade seja cumprida é necessário fazer uma análise das patologias que podem afetar este tipo de estrutura. Medidas preventivas e de manutenção deverão fazer parte do projeto da obra e da sua vida útil. Limpeza periódica das membranas, checagem da tensão (para evitar rugas) e checagem dos elementos metálicos (devido a processos de corrosão e oxidação) devem ser regulares, com periodicidade que

pode variar em função dos materiais usados e das condições climáticas do local onde a estrutura foi montada.

Uma das características marcantes desse tipo de estrutura é a sensação de leveza e de fluidez que elas conseguem passar. É possível construir formas “orgânicas” muito atraentes e em prefeita harmonia com o ambiente, apesar de cobrirem grandes espaços. O engenheiro Carrió (2011), descreve que essas são características específicas deste tipo de arquitetura cuja forma e composição. Promovem uma ruptura dos paradigmas clássicos de estruturas tradicionais feitas com madeira, ferro e argamassa. Ele menciona que as membranas de forma livre são fascinantes devido aos seus aspectos dinâmicos e contínuos.

Para o engenheiro Kawaguchi (1995), uma estrutura não é bonita por si mesma; uma estrutura pode ser considerada realmente bela quando o projetista que a idealiza conseguir combinar sensibilidade e riqueza de imaginação com a capacidade de compreender o comportamento dessa estrutura.

A beleza foi unanimemente mencionada por 100% dos profissionais brasileiros entrevistados na pesquisa deste trabalho com sendo uma das qualidades percebidas neste tipo de estrutura. Outras qualidades consideradas importantes são: modernidade, leveza e praticidade, qualidades estas também apontadas por profissionais que trabalham com esse padrão de estrutura em outros países.

Os princípios e requisitos desse tipo de arquitetura englobam características de expressão visual, aspecto, construção e geometria. Llorens (2011) fala sobre a necessidade de coerência e homogeneidade nas estruturas e expressa o seguinte ponto de vista: “O aspecto não é somente a manifestação da forma. Indica também o comportamento da estrutura e sua adequação funcional”.

Como referido em páginas anteriores, o tecido é um dos mais antigos materiais usados pelo ser humano para construção de abrigos e se mantém como um importante material sendo usado atualmente em diversas aplicações, inclusive na própria construção civil. O seu papel será ainda mais importante para o futuro. Brownell (2011) diz tratar-se de um material leve, fácil de transportar e de manusear, pode gerar economia de energia, proteção térmica e proporcionar efeitos visuais interessantes.

Nos últimos anos percebe-se uma evolução das matérias-primas e dos componentes empregados na fabricação dos compósitos têxteis, dentre elas as membranas arquitetônicas. A utilização de membranas é mais indicada para cobertura de grandes vãos cujos espaços internos não terão colunas ou suportes que possam atrapalhar a movimentação interna. Quando usadas como extensão de prédios convencionais de alvenaria, podem ser uma boa alternativa para protegê-los contra sol excessivo, chuva, vento ou neve. É uma boa alternativa para a melhoria do rendimento energético do edifício ou, mesmo, para proporcionar maior conforto aos usuários que tenham acesso ou que saiam dele.

Até poucos anos atrás, as exigências para este tipo de arquitetura não eram as mesmas que aquelas requeridas para a arquitetura convencional. Por serem leves, finas e relativamente transparentes, eram utilizadas mais como filtro do que como barreira aos agentes atmosféricos e ruídos externos. Mas, de um tempo para cá, com o uso mais frequente em aplicações de caráter permanente, afloram as necessidades de se conseguir melhor condicionamento térmico e acústico, além de eficiência energética. Dentre as principais funções dessa arquitetura podemos destacar a função de proteção, juntamente com a possibilidade de se criar espaços sombreados e confortáveis. Nela a reflexão de radiação solar gira entre 65% e 80%. A opção por cores claras (de preferência branco) deve proporcionar melhores resultados, uma vez que cores escuras absorvem mais calor, gerando desconforto internamente (LLORENS, 2011).

A relação entre a forma e a funcionalidade das estruturas tensionadas é citada por Titotto *et al*. (2003). Esses autores asseguram que, quando esse modelo de estrutura é projetado, é essencial que haja um cuidado na determinação da forma da estrutura para que ela atenda às necessidades definidas no projeto original e que esteja devidamente inserida no contexto do ambiente. A relação entre o *potencial* e a *limitação* deste tipo de sistema estrutural carece de um olhar cuidadoso na exploração de formas e composição.

Ao descrever estrutura tensionada montada ao lado de edifícios de alvenaria no Pátio Norte da Universidade de Melbourne (Austrália), Bahamón (2004) assim explica a funcionalidade deste espaço criado:

> Tal como as tendas beduínas, primeiras construções têxteis, a estrutura tornou-se um símbolo social de reunião, local de refeições, comércio e entretenimento. Enquanto os edifícios adjacentes representam a longevidade e a permanência, a natureza desta peça é efêmera e passageira. A estrutura cobre uma superfície com cerca de 70m² e é utilizada durante o ano para diversas atividades, como simples zona de descanso ou de lazer (BAHÁMON, 2004, p.38).

Uma das principais potencialidades das membranas é a possibilidade que possuem de permitir a passagem parcial de luz, bloqueando as radiações infravermelha e ultravioleta, menciona Santomauro (2008), em seu livro sobre tensoestruturas. Parte da luz do sol é refletida quanto atinge a membrana (30% a 75%), parte é absorvida (10% a 60%) e outra parte penetra no espaço coberto (5% a 20%). A variação de cor pode afetar a transparência da membrana.

O mesmo assunto é assim abordado pelo arquiteto Carrió (1991): a radiação total incidente sobre a membrana é a soma da radiação direta do sol mais a radiação difusa. Do total incidente, 70% é refletido, aproximadamente 15% passa para o interior do ambiente; e 15% é absorvido pela membrana, que, em consequência, atua como difusora (cerca da metade desse percentual absorvido é passado também para o interior do ambiente em forma de calor, e metade é refletido). O coeficiente de transparência resultante gira em torno de 25%. Tal característica proporciona um ambiente com luz natural durante o dia e com possibilidade de interessantes efeitos de luz à noite, como, por exemplo, a iluminação da estrutura através de holofotes com diferentes cores.

2.6 **Economia de energia, reciclagem e reutilização**.

Economia de energia, economia de tempo, economia no transporte, menos impacto ambiental, possibilidade de reciclagem ou de reutilização de produtos, são possíveis com esse tipo de construção. Essa ‘tecnologia limpa’ desperta interesse e atenção. Translucidez, absorção e troca de calor, leveza e composição do material, deverão sozinhos ou em conjunto, gerar impacto ambiental positivo, de maior ou menor proporção, dependendo das condições do

local, das características do projeto, da estrutura em si, bem como dos materiais utilizados.

A translucidez, que, em geral, varia entre 10% e 20% (mas pode chegar a 40%), é uma das principais qualidades deste modelo de cobertura. Ela pode proporcionar uma luminosidade suficiente para iluminar todo o ambiente, durante o dia, sem o uso de luz artificial, gerando boa economia de energia elétrica. Alguns projetistas também usam lâminas de vidro como parte do fechamento lateral ou de alguns vãos entre as formas, para permitir a entrada de mais luz natural e melhorar a iluminação interna (com mescla de luz difusa e sombras). Dois exemplos de uso de vidro em conjunto com a membrana são: o *Dynamic Earth Centre,* em Edinburgo (Escócia) e o Aeroporto de Bangkok (Tailândia). Na Figura 7 tem-se um exemplo da luminosidade conseguida, em um dia de sol, no Anfiteatro Elis Regina em Americana/SP:

Figura 7 - Teatro de Arena Elis Regina, Americana/SP. Fonte: autora

Para Berger (2005), as membranas de poliéster com PVC com 10% de transparência permitem a passagem do nível perfeito de luz durante o dia enquanto refletem a maior parte do calor. Este material é econômico e fácil de manusear durante a construção e montagem da estrutura.

O autor Samuel Armijos também menciona em seu livro a preocupação com sustentabilidade e ‘design verde’:

> As estruturas têxteis estão sendo usadas em projetos que exigem luz natural, economia de energia e menor dependência de combustíveis fósseis. Estruturas com multicamadas podem gerar benefícios térmicos e acústicos, sem perder a luz natural e estão sendo usadas de forma promissora. Estruturas feitas com produtos sustentáveis são particularmente atraentes; PVC reciclado e tecidos com maior expectativa de vida certamente são passos na direção certa para uma arquitetura verde (ARMIJOS, 2008, p.235).

Como as estruturas cobertas com membranas são muito leves e finas, as alterações de temperatura externa são rapidamente sentidas no seu interior; ou seja, quando está muito calor do lado externo, de imediato o interior ficará muito quente; da mesma forma ocorre quando o lado externo está frio, o interno também ficará frio rapidamente. Nesse sentido, alguns cuidados no projeto e nas soluções para melhorar o fluxo de ar dentro das estruturas precisam ser tomados. O engenheiro Llorens (2011) explica esse fenômeno com as seguintes palavras:

> A troca resultante de radiação entre a superfície e seu entorno é a diferença entre a radiação térmica recebida e a emitida pela superfície. Fenômeno contrário ao que acontece com estruturas tradicionais de alvenaria onde ocorre convecção e condução; a radiação não depende de um suporte material intermediário e a transferência de energia é, na verdade, instantânea (LLORENS, 2011, p.5).

O fluxo do calor em ambientes fechados convencionais se dá por meio de três diferentes processos: condução, convecção e radiação. Como a espessura das membranas têxteis é de apenas alguns milímetros, a condução de calor através da membrana é difícil de ser controlada. O controle climático nessa espécie de fechamento deverá ser feito principalmente através do controle dos outros processos de condução de calor que ocorrem, ou seja, convecção e radiação. No caso da convecção, é necessário um controle da ventilação dentro da estrutura, que pode ser natural e/ou mecânico (ventiladores). A tendência natural é que o ar mais quente fique concentrado na parte superior da estrutura, então, o projeto deverá prever aberturas que permitam uma melhor movimentação do ar tanto em lugares de clima mais quente (para evitar abafamento) quando em climas mais

frios, para se evitar que o ar quente fique concentrado na parte superior e o ar frio se concentre em baixo, justamente onde as pessoas ficam. O controle da radiação é feito alterando-se as propriedades ópticas e térmicas da superfície da membrana e do seu entorno (CHILTON *et al.*, 2009).

Uma ótima solução para melhorar o clima dentro da estrutura é o uso de membranas duplas. Essa solução, de folhas duplas, possível tanto para membranas de poliéster/PVC quanto para membranas de vidro/PTFE. Alguns exemplos de grandes obras citadas no subitem 2.3., tais como o *Hajj Terminal*, de Jeddah (Arábia Saudita) e o Dome do Milênio em Londres, dentre muitas outras, são estruturas com duas camadas de membranas. Com tal recurso, cria-se uma camada de ar (entre 100mm e 500mm) entre as duas membranas que fará o papel de um 'isolante'. Proporcionando alguns benefícios, já mencionados no subitem 2.4, dentre eles, a redução da transmissão de calor e de luminosidade, a redução da possibilidade de condensação; melhoria da acústica dentro do ambiente. No caso de locais de clima muito quente, é uma solução que pode reduzir o gasto com ar condicionado e/ou ventiladores e, consequentemente reduzir o consumo de energia elétrica.

Serge Ferrari, fabricante do setor, desenvolveu um processo fechado de reciclagem (que separa o poliéster do PVC) para as lonas e membranas de Poliéster/PVC, chamado *Texyloop*®, que envolve resumidamente as seguintes etapas: 1) preparação e trituração das membranas velhas; 2) dissolução em banho de solvente; 3) separação das fibras de poliéster; 4) precipitação do PVC; 5) adição de aditivos e regeneração do solvente (que volta, em seguida, para o início do processo). Este processo está esquematizado na Figura 8.

Outro sistema de reciclagem para compostos de PVC é o *VinyLoop®,* que foi desenvolvido por meio de uma parceria da SolVin (um dos maiores produtores de PVC da Europa) com a empresa Serge Ferrari. A planta industrial de reciclagem está funcionando deste o ano de 2002, em Ferrara (Itália).

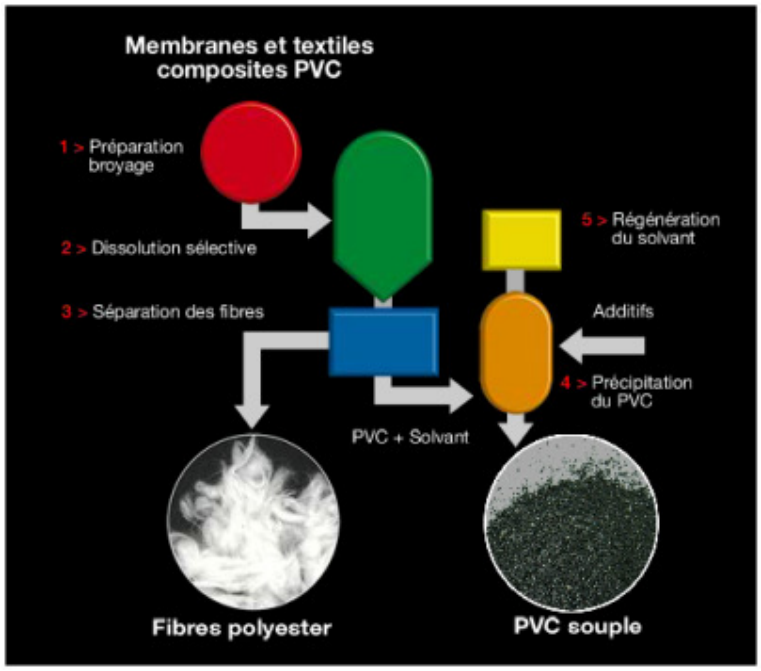


Figura 8 - Processo Texyloop® por Serge Ferrari –
Fonte: www.texyloop.com. Acesso em 29/9/2011.

A empresa fabricante de membranas Mehler (Alemanha) divulga seu engajamento na política de sustentabilidade ambiental por meio de programas internos de reaproveitamento de sobras de produção para reciclagem e da sua participação como membro do programa *Vinyl* 2010.

O *Vinyl* 2010 é um plano de ação de dez anos para a evolução da indústria do PVC no que diz respeito à sustentabilidade ambiental, visando à minimização do impacto no meio ambiente em decorrência da produção de PVC. Neste sentido, promove o uso responsável dos aditivos, apoia a coleta seletiva e a reciclagem de produtos, incentiva o diálogo social entre todos os que atuam nos elos da cadeia do PVC. Atualmente vinte e sete países fazem parte do programa.

O fato de as membranas de poliéster/PVC poderem ser recicladas é um ponto bastante positivo para esse produto com relação às preocupações, cada vez mais presentes, com a qualidade do meio ambiente. Cumpre esclarecer, entretanto, que membranas feitas com tecido de vidro/PTFE - embora tenham maior vida útil - sejam autolimpantes e, em geral, mais translucidas, não podem, pelo menos por enquanto, ser recicladas.

Do ponto de vista ambiental, para Llorens (2011), as estruturas tensionadas, são favoráveis, pois são leves e recicláveis (com exceção de alguns elementos de ancoragem). Ele menciona que o arquiteto Frei Otto diz que essas construções 'são ecológicas, pois desaparecem facilmente sem deixar rastros'.

O PVC é um material que costuma gerar controvérsia quanto ao seu uso. Com relação ao seu impacto no meio ambiente, situam-se aqueles que o criticam, apontando o possível perigo devido ao fato desse material gerar organoclorados em determinadas condições; nestes casos, as dioxinas geradas são muito tóxicas e prejudiciais à saúde (cancerígenas). Aqueles que o defendem apontam sua versatilidade e ampla gama de produtos, principalmente para a construção civil.

Segundo informações publicadas pelo Instituto do PVC em 2010, o PVC, apesar de estar entre os três plásticos mais produzidos no mundo, é o que menos aparece no lixo urbano. De acordo com a entidade, naquele ano havia aproximadamente 738 instalações industriais de reciclagem de resíduos plásticos, atingindo uma quantidade de cerca de 953 mil toneladas de material reciclado (em torno de 16% do consumo aparente de resinas plásticas). Ainda nesse mesmo ano, foram geradas 167 mil toneladas de resíduos de PVC pós-consumo, o que corresponde a apenas 5% do total de resíduo plástico gerado no Brasil. O índice de reciclagem de PVC no Brasil é de 15,1%; o da União Europeia é de 18,3%.

O processo de reciclagem utilizado para artigos 100%PVC é o sistema mecânico, que contém as etapas de moagem, lavagem, secagem, extrusão e granulação. No caso das lonas e membranas, que são compostos têxteis (PES/PVC), a maior dificuldade está na separação dos componentes; por isso, a ação mais comum no Brasil para estes materiais é o reuso e não a reciclagem.

Além das iniciativas acima mencionadas, novos desenvolvimentos e pesquisas estão sendo apresentados neste segmento. A revista *Special Fabric Review,* de fevereiro de 2011, por exemplo, publicou um artigo intitulado '*Solar Quest*' (missão solar) que descreve alguns novos lançamentos e estudos. Segundo a matéria escrita por Todd Jensen e Sigrid Tornquist, depois de décadas de pesquisas, cientistas e fabricantes conseguiram apresentar painéis solares flexíveis, para uso em tendas e coberturas, empregando tecnologia de filmes-finos

(*thin-film tecnology*) e leves. Os dois principais elementos usados nessa tecnologia são o silicone amorfo e o CIGS (*copper indium gallium diselenide*). O fabricante italiano Naizil desenvolveu um painel fotovoltaico com o emprego de um acabamento com tecnologia de filmes-finos. O produto é flexível e é indicado para estruturas onde se necessite de flexibilidade, luminosidade e leveza. Outro fabricante que também desenvolveu um produto com base nesta tecnologia de filmes-finos foi a Ascent Solar Technologies, Inc. (EUA). A aplicação prevista para o produto é cobertura de tendas para eventos. As tendas cobertas com os painéis com módulos fotovoltaicos geram energia para consumo próprio, o que significa a eliminação de geradores especiais para o evento O custo destas soluções ainda é elevado; mas, o fato de trazerem uma alternativa com o benefício de uma abordagem ambientalmente consciente e socialmente amigável, pode significar uma solução bastante atraente.

3 MATÉRIAS-PRIMAS, MATERIAIS e PROCESSOS.

Em se tratando de arquitetura têxtil, existem diferentes opções de materiais que são escolhidos com base nas características requeridas para o projeto e os objetivos finais da estrutura a ser montada. As duas membranas mais usadas atualmente são as de poliéster/PVC e vidro/PTFE (ou GF/PTFE). Mas existem ainda as membranas feitas com tecidos de aramida e com tecido de vidro/silicone e também as lâminas de PTFE, que serão detalhadas no subitem 3.5. Para alguns autores, dentre eles o já citado Llorens (2011), as malhas de cabos metálicos, de igual modo podem ser consideradas como uma opção de material para a arquitetura têxtil, embora não sejam artigos "têxteis".

Neste item será apresentado em detalhe um aprofundamento das características das matérias-primas que compõem a membrana usada na arquitetura têxtil, mais precisamente os filamentos e tecidos de poliéster. Tal detalhamento visa, principalmente, trazer para as pessoas que não são da área têxtil, um pouco mais de informações sobre a parte têxtil, incluindo termos, significados e nomenclaturas empregadas no segmento. Ao efetuar a pesquisa para realizar este trabalho, notou-se a ausência dessas informações. A maior parte de trabalhos publicados está mais focada na parte arquitetônica ou construtiva das estruturas, uma vez que em geral, foram escritos por arquitetos e engenheiros civis, possivelmente 'leigos' no ramo têxtil.

Segundo Araújo (2000), materiais compósitos são materiais fabricados exclusivamente para melhorar as propriedades que os materiais constituintes apresentam em separado, sendo que os quatro níveis de importância no caso das membranas em estudo são: fibra -> fio -> tecido -> compósito. O mesmo autor também escreve que os têxteis técnicos podem ser utilizados como componente de outro produto (reforço, compósito), como ferramenta da produção de outro produto (filtro) ou ainda ser usado isoladamente (geotêxtil, tela de proteção). Os compósitos têxteis podem ser utilizados em diversos setores da indústria e, nos últimos anos, têm apresentado crescimento expressivo.

No caso dos compósitos para estruturas tensionadas, usam-se tecidos mais leves, entre 200g/m² e 270g/m² para estruturas temporárias, e empregando-se

tecidos mais pesados, entre 680g/m² e 880 g/m² para estruturas mais robustas, geralmente de uso permanente.

A resistência desejada para um artigo pode ser maior ou menor, de acordo, tanto com a geometria da estrutura a ser construída quanto, com o material do tecido da membrana. O tipo de estrutura permite uma infinidade de formas, gerando atraentes projetos arquitetônicos. Leveza, impermeabilidade, resistência a intempéries e ao fogo, passagem de luz e facilidade de manutenção, podem variar de acordo com tipo de tecido.

3.1 O filamento de poliéster

No *site* da ABRAFAS (Associação Brasileira de Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas) estão disponíveis os dados relativos à produção brasileira de poliéster em 2010 que foi de 230.938 toneladas; sendo: 68.973 de filamento têxtil, 22.427 de filamento industrial (Figura 9), 83.038 de fibras cortadas e 56.500 de fibras cortadas recicladas.

Figura 9 – Exemplo de filamento liso de poliéster. Fonte: autora

Em 2010, o volume total de importação foi de 243.305 toneladas, das quais 179.356 são de filamentos têxteis, 24.748 filamentos industriais e 39.201 fibras cortadas. Além dos filamentos e fibras, comumente também são importados outros componentes para a fabricação do poliéster, sendo um deles o PTA (ácido

tereftálico) que vem do México e da Índia. O poliéster, cuja matéria-prima básica é o p-xileno pode ser obtido por intermédio de duas rotas de produção: a do DMT (dimetil Tereftalato + MEG) ou a do PTA (ácido terefetálico puro + MEG) (monoetilenoglicol).

Um dos principais produtores locais é a M&G Fibras Brasil que possui uma unidade de policondensação, extrusão e fiação; fornece fibras e polímeros de poliéster para os mercados, local e sul americano. Outro fabricante é a Kordsa Brasil, com origem na Turquia e atuação global; produz fios de alta tenacidade em poliamida e poliéster, além de tecidos para reforço de pneus. A unidade brasileira fica em Camaçari/BA, com produção de filamentos de poliéster de alta tenacidade e fios para pneus. A outra empresa produtora é a Ledervinmatec que, além de fabricar filamentos de poliéster, também produz tecidos, laminados plásticos em geral, inclusive as membranas para estruturas tensionadas.

Está em andamento a construção do Complexo Petroquímica Suape, Pernambuco, com investimento de R$ 4,5 bilhões pela Petrobras. A Petroquímica Suape é um empreendimento com 100% do capital da Petrobras Química S.A (Petroquisa), uma subsidiária da Petrobras para o setor petroquímico. Trata-se de um megaempreendimento que compreende a construção de três plantas industriais em Pernambuco, na Região Nordeste. Uma planta para a produção do PTA (700 mil toneladas/ano), outra para fabricar resina PET e uma terceira para produzir polímeros e de fios de poliéster. Com a produção gerada será possível substituir mais de 50% das importações de filamentos texturizados de poliéster, além de substituir toda importação de filamento POY (do inglês *Partly Oriented Yarns*).

Segundo informações concedidas à revista *Textilia* n°78 (nov/dez 2010 jan/2011) pelo Sr. Richard Ward, diretor superintendente da Petroquímica Suape, o objetivo é viabilizar um projeto que possa atender às demandas de alguns insumos destinados ao mercado local, com preços competitivos, escala de produção e tecnologia de ponta aplicada em seus produtos, oferecendo condições para que as empresas nacionais possam enfrentar a concorrência externa.

No Brasil, por enquanto, o grande volume de poliéster utilizado para a produção de tecidos técnicos, incluindo lonas e laminados de PVC, é importado da Ásia

(diversos fornecedores). No caso das membranas de poliéster/PVC, alvo deste trabalho, usam-se membranas importadas, principalmente de dois dos principais fabricantes internacionais que são Serge Ferrari (França) e Mehler Haku (Alemanha); para alguns casos empregam-se as membranas produzidas aqui mesmo. Este assunto será detalhado mais adiante.

Para esta aplicação, é fundamental que o poliéster seja de alta tenacidade. As características do fio terão impacto no comportamento do tecido e consequentemente, da membrana. A tenacidade é o resultado de um somatório de elementos, tais como flexibilidade ou rigidez molecular, intensidade das ligações intermoleculares e sua frequência nas regiões amorfas, orientação molecular, teor cristalino, bem como a frequência de ligações intermoleculares nas próprias regiões cristalinas, como ensina Alfieri (1999).

Ao compararmos as propriedades dos filamentos de poliéster alta tenacidade com os filamentos têxteis, usados em vestuário, observam-se diferenças significativas entre os valores de tenacidade, alongamento à ruptura e módulo de elasticidade. Na Tabela 1 têm-se os valores que foram obtidos em laboratório nas condições padrões, ou seja, 65% de unidade relativa e 21° C.

Tabela 1 – Comparação entre fio têxtil e fio industrial

Tipo de filamento	Tenacidade (cN/tex)	Alongamento à ruptura (%)	Módulo de elasticidade (N/tex)
Têxtil	40 - 60	20 - 30	2,5 - 4
Industrial (técnico)	60 - 95	8- 20	7 - 15

Fonte: FALKAI [(1)] *et al.* (1981) *apud* ALFIERI (1999)

O módulo de elasticidade tem um sentido prático importante, especialmente nos artigos técnicos, nos quais, em geral, se espera elevada estabilidade dimensional. Segundo Alfieri (1999), um exemplo ilustrativo dessa característica é o caso das correias de acionamento de polia, onde a transmissão do movimento depende da estabilidade dimensional da correia, mantida sobtensão constante. Os fios de poliéster que dão estrutura à borracha são dimensionados pelo seu módulo e não pela tenacidade à ruptura. Os níveis de estiramento para os filamentos têxteis giram em torno de 350%, enquanto que para os filamentos técnicos os níveis de estiragem superam 600%. Tais diferenças de níveis de estiramento geram

mudanças na estrutura molecular das fibras onde o grau de ordem das regiões amorfas aumenta consideravelmente, restringindo a mobilidade molecular e, com isso, aumentando o módulo de elasticidade.

Outro ponto forte do poliéster apontado por Alfieri (1999) é a não influência da umidade na tenacidade e no alongamento. O poliéster, diferentemente das poliamidas, não tem as características afetadas pela umidade devido à dificuldade de rompimento das interações entre os anéis benzênicos. Além disso, o fato de ser uma fibra de caráter 'hidrófobo', significa que não propicia ambiente adequado para o desenvolvimento de bactérias do tipo *Bacillus de Coli*, *Bacilus Welchu* ou *Staphylococcus aureus* ou ainda fungos como *Aspergullus* e *Penicillium*.

Já para Blum *et al.* (2009), mesmo sendo baixa a capacidade de absorção de umidade do poliéster, essa umidade pode gerar um problema no composto têxtil final. Esses autores escreveram que o poliéster é um material orgânico caracterizado por um grupo éster, que o torna sensível à hidrólise. Na membrana PES/PVC o tecido recebe as camadas de PVC (avesso e direito) e essas camadas de PVC irão proteger os fios do envelhecimento e da oxidação. Em alguns casos nos quais o revestimento de PVC tem porosidades, ou não tenha penetrado corretamente no tecido, pode acontecer o fenômeno conhecido como "*wicking*", que é uma infiltração de água entre os filamentos, causando a aparição de bactérias e fungos. É um fenômeno que produz manchas amareladas ou até marrons por toda membrana e também reduz as propriedades de adesão do material, podendo causar problemas nas uniões e descamação do revestimento. Uma das opções para se superar tal problema é utilizar fios "hidrofugados", ou seja, fios que receberam um tratamento especial (para torná-lo mais hidrófobo) que no mercado são conhecidos como fios "*low wick*".

A maior parte dos fabricantes utiliza filamentos de secção transversal redonda, feitos a partir de polímeros semiopacos ou brilhantes, de baixo encolhimento (*low shrinkage*); idealmente entre 1,5 e 2% de encolhimento residual. Os títulos dos fios estão descritos na Tabela 2.

Além das opções de fios descritas na Tabela 2, o número de filamentos pode variar entre os fornecedores de fio, a saber: 1.100 dtex f 210; 1.670 dtex f 210 e 2.200 dtex f 420 (MAZZOLA, 2005).

Tabela 2 – Principais títulos de fios de poliéster para membranas PES/PVC

Título do fio dtex	Título do fio denier	Número de filamentos	Tipo de membrana
1.100	1.000	192	Tipo I e II
1.670	1.500	250	Tipo III e IV
2.200	2.000	384	Tipo V

É oportuno lembrar que, no setor têxtil, o "título" do fio têxtil pode ser medido por diferentes sistemas; este "título" define a relação entre a massa do fio e seu comprimento (MALUF & KOLBE, 2003). Existem dois sistemas mundialmente utilizados pelo setor para medir a densidade linear dos fios: o sistema direto e o sistema indireto:

A. Sistema direto ou massa por unidade de comprimento. Nesse caso, quanto mais grosso o fio, maior é o peso por unidade de comprimento.
   - tex = massa em gramas de 1.000 metros de fio
   - dtex = massa em gramas de 10.000 metros de fio
   - denier = massa em gramas de 9.000 metros de fio

B. Sistema indireto ou comprimento por unidade de massa. Nesse caso, quanto mais leve (ou fino) o fio, maior é o comprimento por unidade de peso.
   - Ne_c = número de meadas de 840 jardas por libra peso
   - Nm = número de metros de fio por grama
   - Ne_{cl} Lea = número de meadas de 300 jardas por libra peso

A medida **tex** e seu múltiplo **dtex** são usados normalmente para as fibras sintéticas (poliéster, poliamida, polipropileno, etc.). Para o algodão, em geral, utiliza-se o título Ne_c (título inglês), para a lã o Nm (título métrico), para o vidro tex, só para mencionar algumas possibilidades.

Exemplificando: PES 1.100 dtex = 1.000 den (o que significa que 10.000 metros de fio pesam 1.100 gramas, ou 9.000 metros pesam 1.000 gramas).

As Normas Brasileiras NBR 12.251 – *Designação dos fios no sistema Tex*, NBR 13.214 – *Determinação do título dos fios* e NBR 8.427 – *Emprego do sistema TEX para expressar títulos têxteis - Procedimento*, detalham os sistemas de medição acima descritos bem como os métodos de ensaio em laboratório.

3.2 **O tecido de poliéster**

Tanto no caso de membranas de poliéster/PVC quanto do caso de membranas de vidro/PTFE, os tecidos estruturantes são fabricados em teares convencionais (Figuras 10 e 11). O tear dito convencional é o tear que trabalha com um conjunto de fios no sentido do comprimento, chamados fios de urdume, que são entrelaçados aos fios inseridos no sentido da largura, chamados de fios de trama. Os fios de urdume e de trama formam um ângulo de 90º entre si, e podem entrelaçar-se de diferentes maneiras, formando diferentes construções ou ligamentos. A forma de inserção dos fios de trama também pode variar de acordo com a tecnologia de fabricação do tear. Principais sistemas: lançadeira, pinça, projétil, ar e água.

Os tecidos produzidos nesses teares convencionais são denominados tecidos planos. Já as malhas podem ser de trama ou de urdume. No caso de artigos técnicos em malha, a utilização de malharia de urdume é predominante em relação à malharia circular.

Nas malhas de urdume o entrelaçamento dos fios ocorre no sentido do urdume. Existem dois grandes grupos: as máquinas *Raschel* e as *Kettenstuhl*. A maior parte dos laminados de PVC usados para comunicação visual, ou mesmo lonas, mais leves, são reforçados com telas feitas em máquinas de malharia de urdume (*warp knitted fabrics, warp inserted fabrics*), com uma liderança de mercado das máquinas do fabricante *Karl Mayer*.

Figura 10 - Teares convencionais na sala de tecelagem. Fonte: autora

Figura 11 - Detalhe dos fios de urdume no tear. Fonte: autora

Já as malhas de trama podem ser produzidas em máquinas retilíneas ou máquinas circulares (também chamados teares circulares); nos dois casos as malhas são feitas no sentido da trama, pois o entrelaçamento ocorre no sentido da largura. Essas máquinas circulares possuem diferentes diâmetros e possibilidades de construções de malhas (meia malha, malha dupla, *Jacquard*, *piquet*, etc.).

Tanto os tecidos quanto as malhas são caracterizados pela matéria-prima e título (peso por unidade de comprimento) dos fios utilizados, da densidade (quantidade de fios por unidade de comprimento e largura), da construção e do acabamento a que são submetidos. A combinação desses elementos e o tipo de máquina na qual são produzidos determinará sua resistência, flexibilidade, aparência, caimento, toque, enfim, suas características como artigo têxtil.

Conforme já mencionado anteriormente, os tecidos planos são formados pelo entrelaçamento perpendicular entre os fios de urdume e os fios de trama. Existem três ligamentos fundamentais: tela, sarja e cetim, sendo que todas as construções, salvo algumas exceções, são basicamente derivadas desses três. A Figura 12 ilustra a posição dos fios de urdume e trama no tecido, passando por cima e por baixo uns dos outros, nas três construções básicas (tela, sarja e cetim) e numa construção derivada da tela que é o panamá 2/2 (Figura 12):

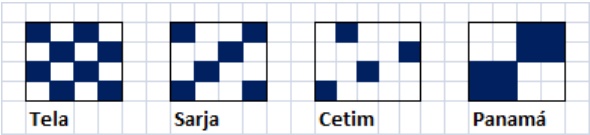


Figura 12 – Representação de quatro diferentes construções de tecidos.

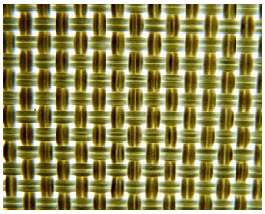


Figura 13 – Panamá 2/2
Fonte: autora

A construção tela, devido ao entrelaçamento 1/1, tem o nível máximo ondulação em sua estrutura. Como resultado disso, diz Adanur (2001), a construção tela tem módulo baixo em comparação com outras construções que têm menos ondulação em sua estrutura. Já a construção panamá (*basket*), os fios são agrupados e trabalham juntos no tear.

O autor Carrió (1991) menciona que, com os tecidos na construção panamá, é possível obter de uma superfície mais plana (com menos ondulação dos fios) e, consequentemente, uma melhor distribuição da camada de PVC. Para se conseguir melhores resultados de resistência é mais recomendado o tecido na construção panamá (com dois, três, ou até quatro fios juntos).

Durante o processo de tecelagem, a tendência natural é que o urdume fique mais ondulado e a trama reta. A seguir, no processo de aplicação do PVC, o tecido é esticado no sentido do urdume, invertendo-se a situação, ou seja, a trama fica ondulada e o urdume reto. Carrió (1991) diz em seu livro que isso é conhecido como “mudança de onda”. Por esse motivo, se a membrana for submetida a uma pretensão biaxial de até 5% da tensão admissível em cada direção, ela sofrerá uma deformação irreversível. Para solucionar o problema, os tecidos devem receber uma pré-tensão, durante a fabricação da membrana, de tal maneira que a deformação posterior seja a menor possível. Os resultados são apresentados na Tabela 3 que mostra os valores de deformação de um tecido normal submetido a 5% da tensão admissível. Nesta tabela o tipo de tecido refere-se à construção, ou seja, a densidade 1x1 fios/cm refere-se a um tecido com ligamento tela, e as densidades 2x2 e 3x3 são referentes a um tecido com ligamento panamá.

Tabela 3 – Tecidos de poliéster e de tecidos de vidro com diferentes densidades e as respectivas deformações:

Fibra	Tecido	Tensão de Deformação (N/5cm)	Deformação (%) Urdume	Trama
Poliéster	1 x 1	3.000	0	2
Poliéster	2 x 2	4.500	0	0,81
Poliéster	3 x 3	9.000	-0,5	3,5
Vidro	1 x 1	4.000	0,5 a -0,5	2 a 4
Vidro	2 x 2	7.000	0,8 a -0,3	4 a 6

Fonte: W.I. Liddell apud Carrió (1991).

Para Santomauro (2008), o comportamento dos tecidos influencia diretamente o comportamento das membranas. E devido a esse fato, ele acredita que elas devam ser escolhidas para cada projeto em particular, levando-se em consideração as direções e a distribuição das tensões na estrutura. Ele destaca ainda que alguns fabricantes aplicam uma pré-tensão no tecido durante o processo de fabricação da membrana.

Segundo Mendonça (2005), os tecidos normalmente são anisotrópicos nas duas direções; ou seja, têm comportamentos diferentes nos sentidos de urdume e trama, quando submetidos a esforços. Em geral, são mais resistentes no sentido da trama (largura do tecido), porém, menos elásticos (VANDERBERG 1996) (MENDONÇA, 2005). Durante o processo de tecelagem, os fios de urdume ficam mais esticados (trabalham tensionados no tear) e os fios de trama, mais relaxados; isso irá afetar o comportamento do produto final. Outro fator que pode interferir na membrana é a densidade do tecido. Um tecido mais fechado (mais denso) terá provavelmente menor resistência ao rasgo. Nesse caso, o revestimento também fica prejudicado, uma vez que não ocorre uma adesão mecânica do revestimento, mas apenas uma adesão química. Já no tecido mais aberto, a adesão mecânica é facilitada, mas não é apropriado para qualquer processo de aplicação de PVC, uma vez que a resistência no sentido da trama pode ficar prejudicada.

O procedimento usual para minimizar o problema da diferença de ondulação entre o urdume e a trama é a aplicar de uma pré-tensão antes e durante a aplicação do PVC. A empresa Serge Ferrari (França), em 1973, patenteou um processo de produção de membranas chamado *Précontrait*®. De modo resumido, a tecnologia

Précontrait®, consiste na aplicação de uma pré-tensão controlada nas duas direções do tecido no processo de fabricação da membrana. Urdume e trama são, ao mesmo tempo, tensionados (tensão biaxial), fazendo com que o tecido fique mais reto, e consequentemente, a camada de PVC ficará mais espessa, o conjunto mais leve e com melhores características de resistência, melhor estabilidade dimensional e, por conseguinte o produto terá melhor durabilidade. Segundo informações do catálogo de produtos dessa empresa, essa tecnologia gera um produto com resistência à deformação superior aos produtos similares disponíveis atualmente no mercado. O fabricante diz que, graças ao baixo encolhimento e aos fios mais retos, o alongamento é três vezes menor do que o alongamento verificado nos tecidos produzidos pelo processo convencional de revestimento.

Os tecidos que levam filamentos de alta tenacidade de poliéster (Figura 14) como matéria-prima e que são usados em projetos arquitetônicos, podem ter diferentes características em função da construção e da densidade. As construções tela e panamá, em diferentes contexturas, são as duas mais utilizadas pelos fabricantes para esse tipo de artigo têxtil. As densidades mais encontradas são: 9x9, 10x10, 12x12 ou 14x14 fios/cm. De igual modo, a largura pode variar em função do maquinário da empresa fabricante e da aplicação final.

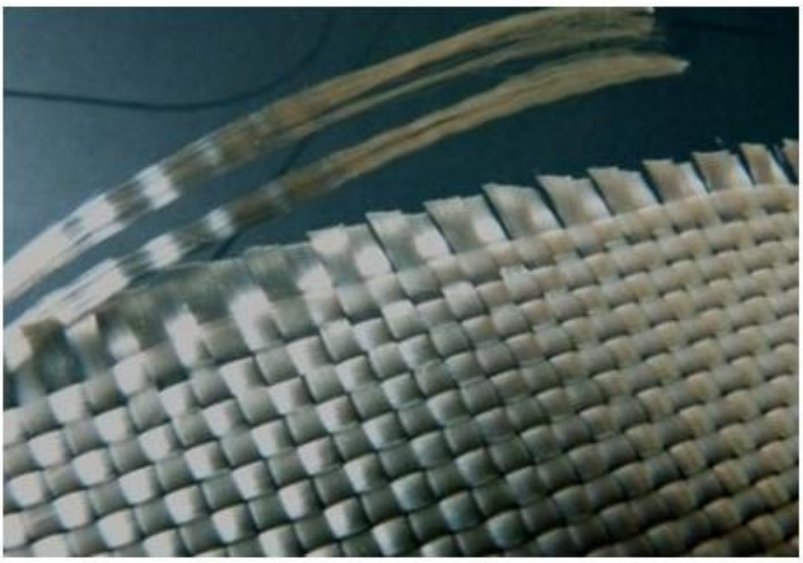
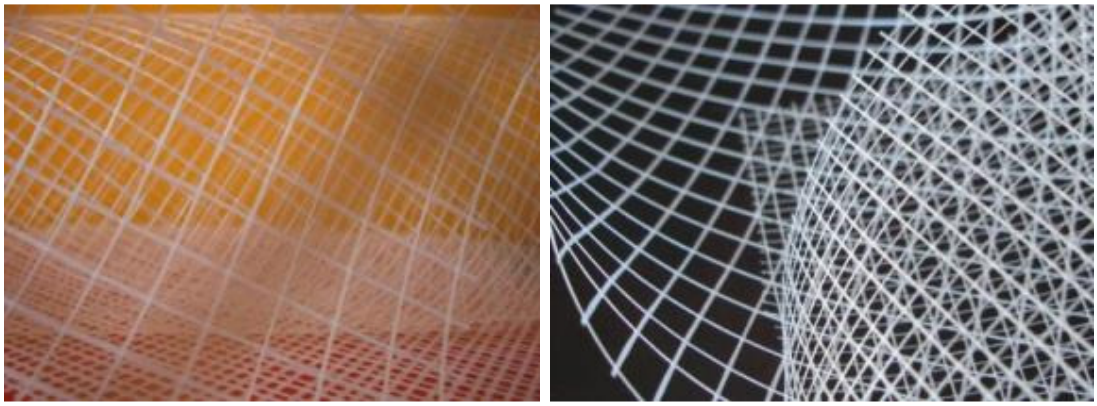


Figura 14 – Tecido de poliéster com fio título 1.100 dtex; 12x12 fios/cm. Fonte: autora

São artigos que podem ser utilizados em diversas aplicações, como, por exemplo: contentores flexíveis, capotas marítimas, botes infláveis, “sanfonas” para ônibus articulados, boias de contenção e coberturas tensionadas. Sendo este último o alvo deste trabalho.

Outra categoria de têxtil, não muito conhecida no mercado, são as telas (não tecidas). No Brasil apenas três empresas possuem máquinas adequadas para fabricar artigos com essa tecnologia de construção: Porcher, Techtêxtil e Sansuy, sendo que esta última fabrica para consumo próprio. Essas telas (Figuras 15 e 16) são também chamadas de “grelhas”, do francês “*grille*” que, em inglês é “*scrim*” (e não *screen*) ou ainda “*laid scrim*”.



Figuras 15 e 16 - Telas de reforço (*scrim*) – Fabricante: Porcher do Brasil (Fonte: autora)

Dentre as vantagens deste tipo de reforço, destaca-se o fato não só de serem 20% a 40% mais finas que telas similares feitas em tear convencional, mas também de proporcionarem uma melhor penetração de adesivos e melhor adesão entre as partes. São construídas por meio da combinação de três componentes: a matéria-prima (tipo de fio), a construção (densidade) e o tipo de impregnação química (cola). A matéria-prima usada no caso das lonas vinílicas é o filamento de poliéster de alta tenacidade, sendo que os títulos mais comuns são 280, 550 e 1.100 dtex. Para outras aplicações, utilizam-se o filamento de vidro tipo E, e outras fibras, tais como Modal, Aramida, Poliamida, Carbono.

Em artigo publicado no *Sourcebook 2009* da revista americana *Fabric Architecture,* tal produto é mencionado quando o autor fala sobre poliéster

recoberto com PVC (*Vinyl-coated polyester*). Ele afirma, então, que a *scrim* de poliéster suporta o revestimento (aplicado inicialmente na forma líquida) e fornece a resistência à tração, alongamento, resistência ao rasgamento e estabilidade dimensional para o produto acabado. A *scrim* é feita com o mesmo filamento contínuo de poliéster alta tenacidade usado no tecido convencional, e pode ser dobrada sem perder as propriedades de tração. Sua resistência, da mesma forma como no tecido, é determinada pelo título do fio e densidade. Para aplicações arquitetônicas, as telas geralmente pesam entre 84g/m² e 334 g/m² e com uma resistência à tração entre 2,62 N/5cm e 5,60 N/5cm. Para tentas temporárias podem ser usados artigos menos resistentes.

Carrió (1991) relata que, alguns fabricantes americanos optam por esta solução em busca de obter um tecido com menor deformação de construção em sua superfície. O maior problema está em se manter a deformação estável. Nas telas (*scrims*), os fios de trama e urdume não são entrelaçados, atados em seus pontos de encontro, o que traz vantagem, em princípio, de eliminar a ondulação inicial do urdume e da trama, e, consequentemente, a "mudança de onda" (já mencionado no começo deste item). Ainda segundo Carrió, na Europa, parece que existe um temor de que as tramas se separem no ponto de união, embora não haja notícia de que tal fato tenha ocorrido. O autor também fala sobre o artigo conhecido como "malha de urdume de tramadeira", no qual fios de trama são "inseridos" durante o processo de fabricação numa máquina de malha de urdume, gerando um malha mais 'travada' e mais estável. Ele descreve o assunto com as seguintes palavras:

> Segundo Kenneth V. Lambert este tecido, conhecido como WIWK (*weft inserted warp knit*) tem interstícios suficientemente abertos para permitir uma boa adesão, tanto mecânica quanto química, entre o tecido e a proteção. Devido ao fato dos fios urdume e trama estarem mais retos, diferentemente do tecido entrelaçado convencional, as tensões que aparecem no processo posterior, que provocam deformações (mudança de onda) são evitadas (CARRIÓ,1990, p.76).

No Brasil existem empresas com equipamentos adequados para produzir esse tecido, utilizando filamentos de poliéster importados ou fabricados localmente (em

menor escala). São utilizados para produção de lonas simples (Figura 17), usadas para coberturas, tendas, lonas de caminhão, cobertura de piscinas, etc.

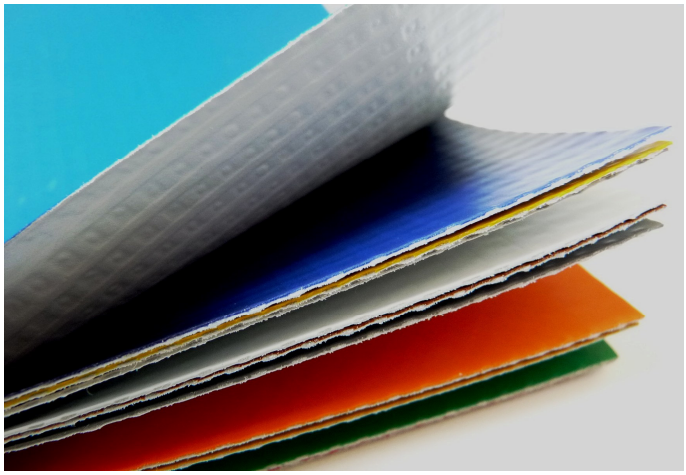


Figura 17 – Lonas comuns PES/PVC em várias cores. Fonte: autora

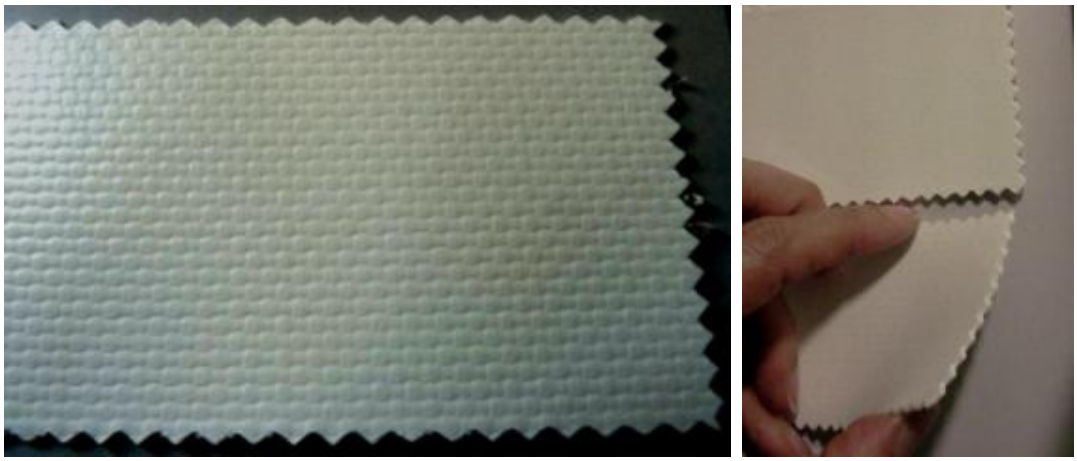
3.3 As membranas de poliéster/PVC/PVDF

O arquiteto uruguaio Roberto Santomauro (2008) classifica em três grupos os materiais usados para a montagem de estruturas tensionadas: as membranas, os cabos e os elementos de estrutura convencionais (ferro, concreto e madeira). O tecido das membranas atua como uma extensa rede de minicabos bidirecionais de grande resistência à tração, que pode ser desde 10 daN/cm até 200 daN/cm.

Diversas características são levadas em consideração nesse tipo de arquitetura: peso, espessura, contextura (fios por centímetro nos sentidos de urdume e trama), tensão à ruptura (axial e biaxial) da membrana sozinha e da membrana com o sistema de engate da estrutura; sistema de tensão/deformação para avaliar a elasticidade e a aderência do recobrimento do tecido. Além disso, também são importantes as características de resistência à fadiga, a formação de pregas, à resistência à abrasão e à absorção e penetração de água e de produtos químicos, aderência de sujeira, resistência e comportamento a baixas e altas temperaturas,

comportamento com relação ao fogo, comportamento térmico e acústico e em relação à luz.

Conforme mencionado por Seaman e Bradenburg (2000), as membranas (Figuras 18 e 19) são compostas de quatro partes: o tecido cru de base, um adesivo ou *primer*, um recobrimento (PVC) e um top *coating* (PVDF ou outro) que serão detalhados mais adiante.



Figuras 18 e 19 – Membranas de Poliéster/PVC/PVDF – Fonte: autora

Segundo Pauletti (2001), o espectro de materiais adequados para a construção de membranas é bastante restrito, pois a aplicabilidade de um determinado material é limitada por uma série de fatores, tais como resistência mecânica, durabilidade, flexibilidade e custo, dentre outros.

Dentre as membranas disponíveis no mercado, as fabricadas pela empresa Serge Ferrari são consideradas, por diversos profissionais como sendo de alta qualidade, possivelmente, devido ao fato de serem produzidas por uma tecnologia patenteada pela empresa de nome "*Précontraint*" (já citada na página 58). Seu processo de fabricação engloba basicamente os seguintes itens: tecido feito com filamento de poliéster alta tenacidade com tratamento especial (produzido na própria empresa); camadas de PVC aplicadas sobtensão nas duas direções (tensão biaxial); acabamento com polímero de alto desempenho e camada final com tratamento resistente à sujeira.

O fabricante Mehler Texnologies, cuja marca da membrana é *Valmex*®, também menciona em seu catálogo os seguintes pré-requisitos: a necessidade de uma pré-tensão em ambos os sentidos; a utilização de fios com baixo alongamento; a construção panamá e a necessidade do acabamento superficial com PVDF para melhorar as características da membrana.

Uma das preocupações, principalmente na Europa, refere-se à resistência ao fogo. Essa característica depende basicamente do tipo de tecido e das suas emendas. Todas as membranas se deformam se submetidas a temperaturas muito altas com sério risco de incêndio. A maior ou menor velocidade de degradação depende ainda do tensionamento prévio e da temperatura ambiente. A esse repeito, Santomauro (2008) relata que, no caso das lonas mais simples, o material começa a fundir em temperaturas entre 160°C a 250°C, enquanto que as membranas arquitetônicas (PES/PVC) só começam a fundir a partir de 300°C, com autoextinção aos 500°C aproximadamente. Na presença de chama, o material se comporta como “autoextinguível” ou “retardante de fogo”, classificados como material de categoria B1, segundo a Norma DIN 4102.

O arquiteto, professor e doutor, Llorens (2011) comenta que as membranas de PVC, para confirmar a característica de “autoextinguíveis”, devem atender aos ensaios de resistência ao fogo, uma vez retirada a fonte de calor. O amolecimento da membrana ocorre em torno dos 70°C, as uniões se abrem em torno dos 100 ^{o}C e a camada de PVC tem aditivos que evitam a formação de gotas de fogo. No caso das membranas de vidro /PTFE, as uniões (junções) só se abrem quando a temperatura atinge 400 ^{o}C, expulsando os gases tóxicos do local; tais membranas são praticamente “incombustíveis”, uma vez que, suportam até 1.000 ^{o}C.

Uma das vantagens das membranas de PES/PVC é que, no caso de eventual incêndio, os orifícios gerados pela ação do fogo possibilitam a ventilação e a saída de fumaça e gases de combustão, evitando a asfixia das pessoas no interior da estrutura. Em qualquer circunstância, as membranas devem atender aos padrões internacionais de resistência ao fogo. Esses padrões englobam segurança das pessoas e do patrimônio e requerem certas características, tais como: material autoextinguível, baixa propagação de chama e não gotejamento de partes incandescentes.

Embora o tecido de vidro e o de poliéster possuam características diferentes, seus mecanismos fundamentais de deformação são similares. As membranas feitas com esses tecidos têm comportamento altamente não linear e anisotrópico, quando submetidas à força biaxial de tração. Essa não linearidade é caracterizada pela deformação dos fios e respectivos recobrimentos (CHIVANTE, 2003). Conforme já mencionado anteriormente, os fios movimentam-se mais ou menos devido à forma como cruzam entre si, e ainda, em função da densidade e da camada de recobrimento.

3.3.1 **O PVC**

O policloreto de vinila (PVC) é uma resina termoplástica, amplamente utilizada no mercado em diversas aplicações. É obtida pela poliadição do monômero de cloreto de vinila. Sua estrutura molecular é formada por 57% de cloro e 43% de CH (eteno; derivado do petróleo). O cloreto de vinilo polimerizado é produzido a partir de etileno e ácido clorídrico anidro; ele é mais forte e mais rígido do que os outros materiais termoplásticos de uso geral. Tem alta resistência à tração e alto modulo de elasticidade. Pode ser plastificado com uma variedade de plastificantes para produzir materiais com praticamente qualquer grau de flexibilidade. Pode de igual maneira, ser misturado com outros termoplásticos (SCHWEIITZER, 2000).

As membranas feitas com tecidos de poliéster recobertos com PVC estão entre as mais baratas; porém apresentam algumas restrições, principalmente relativas à resistência aos agentes climáticos, de modo especial se a estrutura for de caráter permanente. Mas a tecnologia de fabricação desses materiais tem evoluído ao longo dos anos.

A formulação do PVC pode variar entre os fabricantes, todavia, de maneira geral precisa ter determinadas características bastante específicas para atender às especificidades da aplicação, além de normas rigorosas de resistência ao fogo. Em geral, a formulação contém **emulsionantes** que são responsáveis pelas propriedades térmicas e aspecto visual (facilidade de limpeza); **plastificantes** (fosfatos, ftalatos, produtos clorados e ésteres) e **parafinas cloradas**.

O PVC é a matriz do compósito. É um material rígido e deve a sua versatilidade de aplicação à capacidade de ser misturado em produtos com alta proporção de plastificantes, tais como ftalatos, fosfatos, produtos clorados ou de outros ésteres, tornando-o flexível e moldável. Seu peso específico gira em torno de 1,40 a 1,45 g/cm³. É muito sensível à luz e ao calor; característica que têm efeito sobre o processo de degradação. Em temperaturas altas ocorre um amarelecimento; em baixas temperaturas pode tornar-se quebradiço. A adição de plastificantes e aditivos aumenta sua flexibilidade. É normal o uso de fórmulas que contenham sais, cálcio (estearato, ricinoleato), chumbo, bário e zinco. Alguns revestimentos translúcidos contêm entre 4% a 6% de dióxido de titânio, além de outras substâncias capazes de absorver parte da luz ultravioleta. Nesses revestimentos "transparentes" a porcentagem de absorção é de 0,5% (HOEPLI, 1999) (PLANTAMURA e MAZZOLA, 2005).

De acordo com Blum *et al*. (2009) o plastificante é um componente fundamental na mistura. Os fosfatos são eficazes para dar às membranas melhores características de resistência ao fogo; porém, o uso excessivo pode provocar ataques biológicos (fungos e bactérias). Os ftalatos são muito usados, pois têm boa compatibilidade com o PVC, entretanto eles são suscetíveis à hidrólise. As parafinas cloradas também ajudam na resistência ao fogo, todavia podem migrar para a superfície e provocar um aumento da possibilidade de sujidade.

A receita de fabricação vai depender de cada fabricante de membrana e sua composição é, via de regra, um segredo industrial que pode fazer a diferença entre os produtos.

Existem diferentes processos para se aplicar do PVC sobre o tecido de poliéster: calandragem seguida de laminação, extrusão seguida de calandragem e espalmagem. No processo de espalmagem, em inglês *direct coating*, o PVC pastoso é derramado e espalhado sobre o tecido; a pasta de PVC contém importantes quantidades de emulsionantes cuja concentração tem impacto no produto final, tais como propriedades térmicas, facilidade de limpeza e aspecto da superfície. Esse processo é uma das fases mais delicadas dentro do processo de fabricação da membrana, na verdade, se for feito de forma inadequada, poderá provocar um mau desempenho com relação às intempéries e também sobre a parte estética da membrana.

Conforme Plantamura e Mazzola (2005), as fases do processo de espalmagem são: preparação da mistura, filtragem, coloração (quando for o caso), desareação (eliminação de bolhas de ar da mistura), primeira espalmagem, passagem pelo primeiro forno (150 ^{o}C), segunda espalmagem, passagem pelo segundo forno (170 ^{o}C a 200 ºC) e inspeção final.

A tecnologia de espalmagem (Figura 20) possui algumas variações em função de diferentes modelos de máquinas. Na espalmagem com raclete, a pasta de PVC é distribuída sobre o tecido, transversalmente a ele, de maneira uniforme e espessura regulada. Em seguida, passa pelo forno e depois é prensado entre dois cilindros. Na espalmagem por fusão, a pasta (densa) é colocada sobre o cilindro que entra em contato com o tecido, seguida de uma fase de aquecimento que facilita a adesão entre os componentes. Nas figuras abaixo o esquema dos possíveis processos:

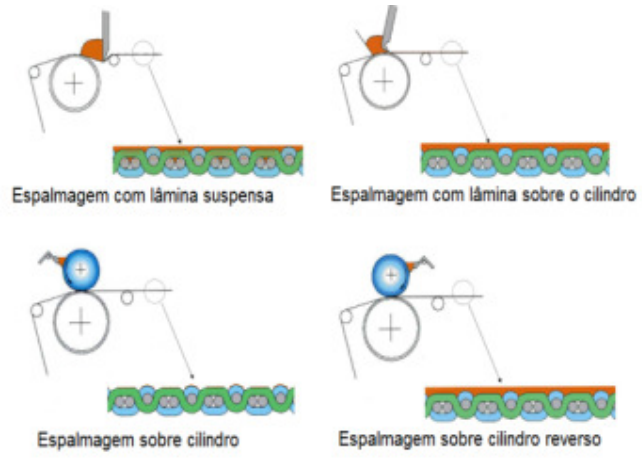


Figura 20 – Processos de espalmagem.
Adaptado de PLANTAMURA e MAZZOLLA (2005).

De acordo com Nunes (2006), o processo de espalmagem pode ser considerado o mais importante para o mercado de pastas de PVC. Conforme já mencionado anteriormente, consiste na deposição do “plastisol” (suspensão de partículas de PVC no plastificante) diretamente sobre o substrato (tecido). Em seguida, o “plastisol” passa por um processo de fusão em um forno e forma uma camada resistente sobre o suporte. Além das membranas para arquitetura têxtil, podem também ser produzidos com essa tecnologia: lonas para botes infláveis, papéis de

parede, pisos, couros sintéticos, correias transportadoras e alguns tipos de fitas adesivas.

No caso do processo de calandragem/laminação, as calandras utilizadas são geralmente dotadas de quatro rolos. O PVC fundido é depositado (por extrusão) entre dois cilindros de alimentação que comprimem essa massa. Forma-se, dessa maneira, um filme cuja espessura é controlada pela distância entre os cilindros (NUNES, 2006). Em seguida, o filme, ainda quente, é laminado sobre o tecido de poliéster; depois, o conjunto é esfriado e enrolado em bobinas. A espessura do revestimento tem um papel fundamental no sentido de garantir a durabilidade da membrana. Os pontos mais altos do tecido, ou seja, no ponto de entrelaçamento entre os fios de urdume e trama, a camada de PVC deve ter, pelo menos 0,02 mm (PLANTAMURA, 2005).

De acordo com Carrió (1990), a aderência entre o tecido e a proteção (PVC) se dá tanto de forma mecânica quanto química. A mecânica está baseada na penetração do PVC nos interstícios do tecido; a química consiste na ação do *primer* (adesivo) que promove uma reação química entre a fibra do tecido e o PVC. Nos tecidos muito batidos (muito densos), a adesão mecânica pode ser prejudicada. A camada de PVC contém aditivos que darão características específicas para as membranas, tais como: proteção para os raios ultravioletas, proteção contra o fogo (retardantes de chama) e agentes fungicidas. A estrutura do tecido, aliada à composição química e à quantidade de produto aplicada, definirá as características da membrana.

3.3.2 **Os acabamentos superciciais (PVDF e outros)**

É mediante camada superficial dada através do acabamento final, também chamada laca, verniz ou "*coating*", que a membrana adquire as características de resistência às intempéries, aos raios ultravioleta, à sujidade e ainda a facilidade de impressão digital (quanto aplicável).

Em geral, os componentes são constituídos de materiais poliméricos, tais como acrílicos, fluoreto de polivinilo (PVF) e fluoreto de polivinilideno (PVDF). No

processo de aplicação, o conjunto PES/PVC recebe o produto através do contato com cilindro rotativo imerso numa vasca com o produto (laca) que é transparente. Em seguida ocorre uma passagem por calandra (com um cilindro de borracha e um de aço), secagem e acabamento final (com brilho) da membrana (PLANTAMURA e MAZZOLA, 2005).

Plantamura e Mazzola (2005) esclarecem que, a laca mais simples é a acrílica, que pode usar como base água ou solvente. O PVDF é mais eficiente para a proteção contra amarelecimento e intempéries; porém, empregado em excesso, pode atrapalhar o processo de solda (junção) entre as folhas (tiras) de membranas que compõem as estruturas. Para evitar tal inconveniente, é usual a misturar lacas com base acrílica e PVDF.

O recobrimento com PVF (fluoreto de polivinilo) proporciona uma boa resistência e menor erosão ao envelhecimento; suporta os raios ultravioleta bem mais do que os acabamentos acrílicos (BLUM *et al*., 2004).

O PVDF (fluoreto de polivinilideno) é mencionado atualmente pelos fabricantes como sendo o produto mais indicado para essa aplicação; sua principal função é aumentar a vida útil da membrana. É um polímero cristalino de alto peso molecular contendo 50% de flúor, gerando uma estrutura química similar ao PTFE, exceto por não ser totalmente fluorado. Proporciona impermeabilidade, resistência aos raios ultravioleta e aos fungos, além de melhorar a resistência ao fogo. Os principais fabricantes garantem dez anos; mas é possível encontrar estruturas de quinze a vinte anos ainda em boas condições. O fabricante Serge Ferrari divulga em seu material institucional alguns exemplos e resultados de ensaios realizados com membranas já instaladas que já ultrapassaram o prazo de garantia.

O PVDF apresenta baixa tensão superficial e boa resistência à chama; é quimicamente resistente à maior parte dos ácidos e bases e aos solventes orgânicos. Ele tem baixa resistência aos álcalis fortes, aminas, solventes polares, cetonas e ésteres. Além de ser usado para recobrimento das membranas de estruturas tensionadas, ele também pode ser usado para revestimento de equipamentos, de cubas, de tubulações, de válvulas e de bombas. (SCHWEIITZER, 2000).

Algumas marcas registradas deste polímero são: *Kynar* (Elf Atochem); *Solef* (Solvag); *Hylar* (Ausimot/USA); *Super Pro 230 and ISO* (Asahi/America). E marcas registradas do acabamento com este material sobre membranas de PES/PCV: *Fluotop®T* (Serge Ferrari) e *Mehatop®F* (Mehler Texnologies).

3.3.3 **Tipos, características, fabricantes e marcas**: **PES/PVC**

Carrió (1991) várias vezes citado aqui, afirma que, no mundo, são poucas as empresas que se especializaram na fabricação de membranas com qualidade e requisitos específicos para a aplicação em estruturas tensionadas. Segundo ele, não passa de cinco fabricantes de membranas feitas com tecido de poliéster com PVC e outros cinco fabricantes de membranas de tecido de vidro recoberto por PTFE. O preço das membranas também pode variar de acordo com o tipo, o fabricante e o país de origem. Com os dados da Tabela 4 tem-se uma noção da ordem de grandeza dos preços de cinco diferentes membranas:

Tabela 4 – Comparativo de preços de diferentes membranas

Membrana	Preço referencial
PES/PVC/PVDF	40 €/m²
Vidro/PTFE	180 €/m²
Vidro/Silicone	80 €/m²
Filme de ETFE	100 €/m²
100% PTFE	300 €/m²

Fonte: Adaptado de Mazzola, 2005.

O arquiteto Santomauro (2008),também bastante referido neste trabalho, montou uma tabela com informações cedidas por cinco fabricantes (Serge Ferrari, Naizil, Mehler e Verseidag), com os valores correspondentes aos cinco principais tipos de membrana de poliéster/PVC usadas atualmente no mundo. Como, dentro de uma mesma categoria, não existem divergências significativas entre as características físicas das membranas fabricadas pelos principais produtores, foi possível fazer a unificação de valores numa única tabela. Para simplificar ainda mais, para este trabalho foram selecionadas somente as informações consideradas mais pertinentes, que estão transcritas na Tabela 5, onde PES =

Poliéster; AT = alta tenacidade; dtex = título do fio (vide pág. 45); U x T = urdume e trama; g/m² = grama por metro quadrado (unidade de peso); daN/cm = deca Newton por centímetro; mm = milímetros, µ = microns; PVC = Cloreto de polivinila; PVDF = fluoreto de polinivilideno.

Tabela 5 – Especificações dos cinco tipos de membranas PES/PVC

	Membranas de poliéster/PVC				
Características técnicas	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Tipo de fio (filamento)	PES AT	PES AT	PES AT	PES AT	PES AT
Título do fio (dtex)	1.100	1.100	1.670	1.670	2.200
Contextura (fios/cm) (U x T)	9 x 9	12 x 12	10 x 10	14 x 14	14 x 14
Construção	Tela	Panamá	Panamá	Panamá	Panamá
Gramatura do tecido (g/m²)	200	280	340	490	640
Espessura acabamento PVC/PVDF (µ)	240	350	270	300	300
Peso total da membrana (g/m²)	750	1.050	1.050	1.350	1.500
Espessura total da membrana (mm)	0,52	0,78	0,78	1,02	1,14
Resistência à tração (U x T) daN/cm	60 x 56	84 x 80	112 x 12	160 x 140	200 x 160
Resistência ao rasgamento (U x T) daN	30 x 28	55 x 50	80 x 65	120 x 110	160 x 140
Alongamento na ruptura (U x T) (%)	15 x 20	15 x 20	15 x 20	15 x 20	15 x 20
Adesão (daN/cm)	2,0	2,4	2,4	2,6	3,0
Largura das membranas (metros)	1,8 a 3,0	1,8 a 3,0	1,8 a 3,0	1,8 a 3,0	1,8 a 3,0

Fonte: Adaptado de Santomauro, 2008.

As empresas Serge Ferrari (França), Mehler Texnologies (Alemanha), Naizil (Itália), Sioen (Bélgica) e Verseidag-Indutex (Alemanha), são citadas pelos engenheiros e arquitetos que publicaram livros e artigos sobre membranas de PES/PVC fora do Brasil. Elas produzem a gama completa e são consideradas referências em membranas no mundo. Das empresas acima citadas, a Serge Ferrari foi a empresa mais mencionada como fornecedor de membranas para projetos no Brasil. A empresa Sioen não foi citada no questionário desta pesquisa, mas foi mencionada, num dos contatos por telefone, como sendo importadora de lonas para laterais de caminhões (*sider trucks*).

As empresas brasileiras Sansuy e Levervinmatec também produzem alguns produtos dentro das características exigidas para a aplicação; não são mencionadas na literatura pesquisada, mas foram apontadas como conhecidas ou como fornecedoras locais pelos profissionais entrevistados. A fábrica da Sansuy foi montada na década de 1960 no Brasil e a atua em diversos segmentos de

mercado com produtos feitos com PVC. A Ledervinmatec é o resultado da fusão das empresas Ledervin e Matec, ocorrida em Junho de 2011. Possui equipamentos modernos e é verticalizada (produz o filamento de poliéster, o tecido e a aplicação do PVC).

A Tabela 6 apresenta o nome das principais empresas fabricantes de membranas de PES/PVC, seus logotipos e seus países de origem:

Tabela 6 – Principais fabricantes de membranas PES/PVC

Empresa e web site	País de origem	Marca registrada/ produto	Endereço internet
Serge Ferrari www.sergeferrari.com	França	Précontraint®	
Mehler Texnologies www.mehler-texnologies.com	Alemanha	Valmex®	
Verseidag www.verseidag.de	Alemanha	Duraskin®	
Naizil www.naizil.it	Itália	Linha COVER	
Sioen www.sioen.be	Bélgica	T0107,T1107,T2107 T3107eT4107	

No Brasil, as empresas Sansuy e Ledervinmatec possuem dois ou três produtos para essa aplicação. Seus logotipos e marcas são descritos na Tabela 7:

Tabela 7 – Dois fabricantes brasileiros de membranas PES/PVDF

Sansuy www.sansuy.com.br	Brasil	Sanclif®DII e IV	
Ledervinmatec www.ledervinmatec.com.br	Brasil	Drakar®	

3.4 As membranas de vidro/PTFE

A *Taiyo Birdair Corporation* é responsável por inúmeros projetos e montagem de importantes estruturas tensionadas ao redor do mundo, principalmente estruturas permanentes feitas com membranas de tecido de vidro com PTFE (Figura 21). Assim ela descreve esse produto: “Este tipo de membrana, revestida com *Teflon*® (marca registrada da DuPont), tem excepcional durabilidade, translucidez e

facilidade de limpeza. São materiais altamente resistentes às intempéries, que podem atender aos requisitos das normas relativas ao fogo, para praticamente todos os tipos de construção, e seu coeficiente de sombreamento é superior aos vidros convencionais. A combinação da eficiência energética com a durabilidade gera um produto que pode ser eficaz em qualquer clima no mundo. Estruturas de membrana com vãos de mais de 100 metros provaram a sua viabilidade em muitos climas, incluindo zonas de neve pesada".

O produto foi desenvolvido em 1969 numa parceria entre as empresas Birdair, Chemfab (atual Saint-Gobain *Performance Plastics*) e Owens Corning. Suas principais características são: resistência química, estabilidade térmica, ampla gama de temperatura de serviço, não suscetibilidade ao ataque dos raios ultravioleta, ausência de envelhecimento sob ação de baixas temperaturas e comportamento não pegajoso ao longo do tempo (CHIVANTE, 2005) (BLUM *et al*. 2004).

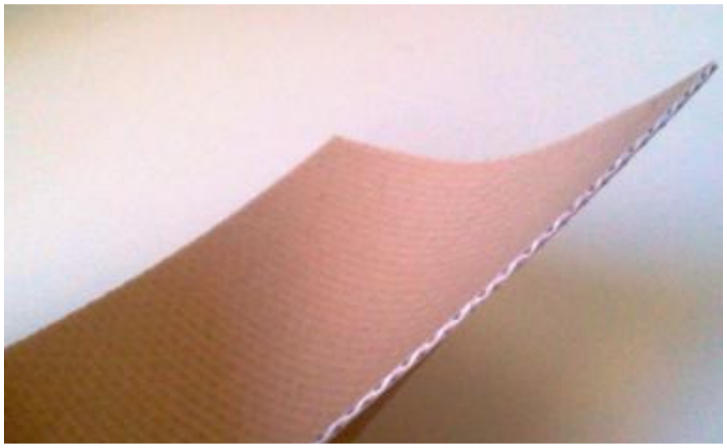


Figura 21 – Membrana de Vidro/PTFE. Fonte: autora

O PTFE (politetrafluoretileno) é um flúor-polímero caracterizado por uma estrutura molecular na qual a maioria das ligações químicas presentes é do tipo flúor-carbono; ou seja, uma ligação covalente com maior energia. Suas moléculas são muito estáveis e podem suportar altos níveis de estresse térmico e ataque químico, mais do que outros polímeros. Por outro lado, tem custo muito alto que justifica o fato de seu uso ser limitado. Em geral, as membranas de vidro/PTFE são classificadas como "não combustíveis" (o ponto de fusão gira em torno dos 350 ^{o}C); por isso é usada para estruturas em espaços públicos (MAZZOLA, 2005).

O revestimento de tecido de fibra de vidro de PTFE é por impregnação por meio de uma solução de PTFE. Inicialmente, o tecido deve ser lavado a quente (purgado) para, em seguida, receber uma camada de silicone cuja principal função é impedir a penetração de água nas fibras de vidro. A próxima etapa consiste na imersão do tecido em um banho de PTFE e posterior fixação com a ajuda de ligantes e secagem (350 ^{o}C a 380 ^{o}C). Uma das diferenças entre o PTFE e o PVC é a temperatura de fusão dos dois produtos. Enquanto o ponto de fusão PTFE ocorre com temperatura em torno de 330 ^{o}C, o PVC funde-se entre 160 ^{o}C e 220 ^{o}C. O PTFE não pode ser aplicado sobre o tecido de poliéster, pois as fibras de poliéster não resistiriam a uma temperatura tão alta quanto o tecido de vidro pode suportar (PLANTAMURA, 2005).

O filamento de vidro usado para fazer o tecido é do tipo E (*E-glass*). Os seguintes fios aparecem nas fichas técnicas dos principais fabricantes: EC3, EC4, EC6 e E9C. Nessas fichas **E** significa o tipo do vidro; **C** indica que é filamento contínuo; o número ao lado (3, 4, 6 e 9) define o diâmetro do filamento em mícron. O filamento de vidro com 11µ de diâmetro também é mencionado, raramente, porém.

Um dos fornecedores de filamento de vidro, a AGY, fornece um fio especial para essa aplicação o qual a empresa chama de fio beta (*Beta®yarn*), que possui 4µ de diâmetro (MANCINELLI, 2010).

Após a fiação os filamentos ainda lisos devem passar por um processo de torção e retorção a fim de conferir melhor resistência, mais coesão, maior flexibilidade e mais facilidade de uso no processo de tecelagem. Exemplo: EC4 33 x 2 x 3 que pode ser assim descrito: filamento contínuo (C) de vidro, tipo E, cujo título do fio base é 33 tex, torcido em dois cabos e retorcido em três cabos. Esse mesmo fio, se descrito pelo sistema americano, seria: BC 150 2/3. Outras opções de construção de filamentos de vidro, torcidos e retorcidos, também são encontradas nas descrições deste tipo de membrana: 33x2x3; 33x2x2; 66x2x2; 66x2x3, etc.

Trata-se de um tipo de membrana que exige maior especialização, tanto no cálculo estrutural quanto na execução da obra. A membrana é mais rígida e o seu manuseio é mais difícil. O processo de solda entre as partes deve ser feito por

fusão. Parra (2011) menciona que a união dessas membranas deve ser feita com o auxílio de uma fita intermediária termosensível.

A membrana de vidro/PTFE não é 'tingível', entretanto, sua cor original ao sair da produção, varia entre cinza, bege e areia, mas vai branqueando quando exposta ao sol. Após quatro a seis meses, estará totalmente branca. Tal efeito de branqueamento, então, permite a entrada da luz do sol, gerando uma luminosidade difusa no ambiente. Em 2006, foi lançado um *coating* à base de dióxido de titânio para as membranas de vidro/PTFE, que confere a esse artigo uma melhor resistência aos raios ultravioleta. (Forster, Mollaert, Zanelli 2007), (MAZZOLA, 2005).

A cobertura com dióxido de titânio (TiO_2) gera uma membrana fotocatalítica que funciona como a copa de uma árvore, promovendo sombra e conforto; tem função de neutralizar tanto odores, quanto agentes poluidores transportados pelo ar. O oxigênio e o vapor de água presentes no ar reagem com as moléculas de TiO_2, quebram o material particulado e materiais orgânicos depositados sobre a estrutura. Quando chove, esses resíduos são "lavados" e se desprendem da membrana, deixando-a limpa (autolimpante); informação disponível no *site* da empresa Birdair Inc. Outra possibilidade é introduzir uma camada isolante entre duas membranas; solução ideal para locais onde se deseja um bom isolamento térmico. Nesse caso, o isolante aerogel *Lumira®* (marca da empresa *Cabot Corporation*) é introduzido na membrana com tecnologia *Tensotherm®* da empresa Birdair Inc., gerando um produto de alto desempenho.

Ainda dentro da categoria de produtos com tecnologias diferenciadas, existe um produto que pode proporcionar maior transmissão de luz (40% versus 24% das membranas sem este acabamento), que é o caso da membrana de vidro/PTFE tratada com acabamento *Tenara®* da empresa Gore®.

No mercado são comercializados sete diferentes tipos de tecidos de vidro com PTFE (G1 a G7). Os produtos destinados à arquitetura têxtil estão entre os tipos G3 e G7 cujas características podem ser comparadas com as cinco categorias dos tecidos de PES/PVC. (MAZZOLA, 2005).

3.4.1 Tipos, características, fabricantes e marcas: GF/PTFE

A Tabela 8 foi montada a partir das especificações técnicas de produtos de vidro/PTFE da empresa Obeflex disponíveis em seu *site* na *internet*:

Tabela 8 – Especificações de membranas de vidro/PTFE do fabricante Obeflex

Fabricante OBEFLEX	**Obeflon 800**	**Obeflon 800ß**	**Obeflon 1000**	**Obeflon 1150ß**	**Obeflon 1200**	**Obeflon 1550 ß**
Coating	PTFE	PFFE	PTFE	PTFE	PTFE	PTFE
Tipo de vidro	EC6	GF- EC3	EC6	GF-EC3	EC6	GF - EC3
Fio de vidro	ND	1360 dtex	EC6 66x2x2	2100 dtex	204tex	4080 dtex
Densidade (fios/cm)	ND	13 x 13	9 x 9	12 x12	10,5 x 9,2	8 x 7,5
Construção	ND	L 1 x 1	tela 1x1	L 1 x 1	tela 1 x 1	L 1 x 1
Tecido (g/m²)	365	365	505	505	570	635
Membrana (g/m²)	800	800	1000	1150	1200	1550
Espessura (mm)	0,5 a 0,55	0,5 a 0,55	0,63	0,60 a 0,63	0,95	0,95 - 1,0
Tração (N/5cm)	3500/3500	3500/3500	6000/5500	6000/ 5500	6000/6000	7500/6500
Rasgamento (N)	300/300	300/300	350/350	500/300	500/500	500/500
Adesão (N/5cm)	60	60	50	80	50	100
Reflexão solar (%)	72	72	72	72	72	72
Transmissão solar (%)	8 ± 2	8 ± 2	8 ± 2	8 ± 2	8 ± 2	8 ± 2
Largura (cm)	300	300	300	300	300	300
Não combustível	classe A2	classe A2	classe A2	classe A2	classe A2	classe A2

Fonte: Empresa Obeflex, marca Obeflon® (ND = dado não disponível)

Outro fabricante desse tipo de membrana é a empresa alemã Verseidag, que disponibiliza em seu *site* na internet, uma lista de produtos feitos com filamentos de vidro de diferentes títulos, gramaturas e construções. Dentre os ligamentos aparece a opção chamada ‘giro inglês’, em inglês é chamada ‘*leno*’.

Tabela 9 – Especificações de membranas de vidro/PTFE do fabricante Verseidag

VERSEIDAG-Duraskin®	**B 18909**	**B 18919**	**B 18656**	**B 18039**	**B 18089**	**B 18059**
Filamento de vidro	EC9	EC6	EC6	EC3/4	EC3/4	EC3/4
Densidade (fios/polegada)	ND	ND	15/15	33/33	26/28	19/20
Densidade (fios/cm)	ND	ND	6 x 6	13 x 13	10 x 11	7 x 8
Construção	ND	ND	*leno*	plana	plana	plana
Tipo de acabamento	PTFE	PTFE	PFTE	PTFE	PTFE	PTFE
Peso total (g/m²)	650	600	700	800	1150	1550
Largura (cm)	300	300	300	300	470	470
Tração (N/5cm) (U/T)	3500/3000	3500/2300	5000/4500	4200/4000	7000/6000	8000/7000
Rasgamento (N)	250/250	250/200	450/500	300/300	500/500	500/500
Adesão (n/5cm)	-	40 ± 5	-	60	80	100
Translucidez à 550 nm (%)	50	20	34	17	14	11
Categoria (*flame retardancy*)	A2	A2	A2	A2	B1	B1

Fonte: Tabela montada com informações disponíveis no *site* da empresa. (ND = não disponíveis)

No mundo não existem muitas empresas que produzem esse tipo de artigo, sendo que os principais fabricantes das membranas GF/PTFE estão na Tabela 10:

Tabela 10 – Principais fabricantes de membranas de vidro/PTFE, seus logotipos e marcas

Empresa	Logotipo da empresa	Marca
Saint-Gobain Performance Plastics (França) - www.sheerfill.com	SAINT-GOBAIN PERFORMANCE PLASTICS	SHEERFILL®
Verseidag (Alemanha) www.verseidag.de	VERSEIDAG	duraskin® The reliable protection
Obeflex (Arábia Saudita) www.obeflex.com	Obeflex Obeflon	Marca: Obeflon
Fibertech (Arábia Saudita) www.fiber-tec.com	FIBERTECH	Marca: Fibertech
Taconic (EUA, Ásia e Europa) www.taconic-afd.com	TACONIC Architectural Fabrics Division	SOLUS® Architectural Fabrics
Chukoh (Japão) www.chukoh.co.jp	chukoh	Marca: Chukoh

É possível estabelecer um paralelo entre as membranas feitas com poliéster/PVC e as membranas de vidro/PTFE. Na Tabela 11 encontra-se um comparativo das propriedades desses dois tipos de membranas com gramaturas semelhantes (BLUM *et al.*, 2004).

Tabela 11 – Comparação entre dois tipos de membranas: PES/PVC e vidro/PTFE

Características	PES/PVC	Vidro/PTFE (GF/PTFE)
Gramatura da membrana (g/m²)	1.050 g/m²	1.150 g/m²
Resistência à tração (N/cm) (U/T)	112/120	140/120
Rasgamento (daN)	80/65	50/50
Larguras das bobinas (metros)	1,80 a 3,00 metros	3,00 a 4,70 metros
Espessura (mm)	0,78	0,70
Transmissão solar (%)	7%	12 a 14%
Durabilidade	> 15 – 20 anos	> 25 anos
Tipo de união (emendas)	Alta frequência	Soldagem (térmica)
Custo	Baixo	Alto
Limpeza	Necessita lavagem	Auto limpante
Temperaturas extremas (°C)	- 30 à +70 °C	- 80 à +250 °C
Reação ao fogo	Classe B1	Classe A1 (não combustível)

Fonte: Adaptado de BLUM et al. (2004)

Apenas para exemplificar, três estruturas de grande porte feitas com esse tipo de membrana, já mencionadas anteriormente, são: o Domo do Milênio (Inglaterra), o Aeroporto de Denver (EUA) e o *Hajj Ternimal,* Jeddah (Arábia Saudita).

3.5 Outros materiais

Além do PES/PVC e do vidro/PTFE, existem outros materiais empregados na construção de estruturas tensionadas; dentre eles: os tecidos de vidro recoberto com silicone, as lâminas de PTFE, as lâminas de ETFE (copolímero de etileno-tetrafluoretileno), telas de HDPE e os tecidos de aramida (Kevlar® marca Du Pont, ou similares).

O **tecido de vidro recoberto com silicone** tem vantagens e desvantagens. Segundo Berger (2005), esse tipo de membrana foi desenvolvido em 1980 pela Dow Corning. Existe uma similaridade entre a estrutura química da fibra de vidro e o material de acabamento. Isso possibilita a geração de uma membrana com excelente grau de translucidez e assegura a melhor vida útil do tecido de vidro. Fabricante *PD* Interglas (marca *Atex*).

Parra (2011) afirma que tal tipo de recobrimento gera uma membrana com as seguintes características: boa elasticidade, boa resistência mecânica, transmissão luminosa até 50% e ainda suporta variações de temperatura que vão de –50 ^{o}C a +200°C, e também suportam condições atmosféricas agressivas e são relativamente fáceis de manusear (quando comparadas com as membranas GF/PTFE). Apesar de todas as vantagens acima descritas, elas apresentam alguns pontos negativos muito relevantes: sujam com facilidade, pois, carregam-se facilmente de eletricidade estática, e o processo de soldagem é mais difícil (necessitam fita adesiva ou termo fusível); o processo requer tempo, espaço e controle de umidade. Quanto ao seu preço, o valor se situa entre as de vidro/PTFE e as de PES/PVC (BERGER, 2005).

Com relação às **lâminas de ETFE**, as principais vantagens são: a translucidez, que chega a ser de 90%, a alta absorção de radiação, a baixa absorção de raios ultravioleta, boa resistência à tração e fricção, de fácil limpeza (com água da chuva), durabilidade superior a vinte anos. Elas se prestam à montagem de estufas e estruturas pneumáticas. Desta última, três bons exemplos são: o estádio Allianz Arena, construído em Munique (Alemanha), para a copa de 2006; o *Beijing National Aquatics Center* (Cubo de Água) (Figura 22) e o *Beijing National Stadium*

ambos construídos para as Olimpíadas de 2008 na China. Acrescentando-se ainda, a surpreendente e gigantesca estrutura chamada *Khan Shatyr*, localizada em Astana, no Cazaquistão. É atualmente a mais alta estrutura tensionada no mundo sendo formada por extensa malha de cabos coberta por três camadas de PTFE. Tem 150 metros de altura e cobre uma área de 100.000m², com restaurantes, cinemas e espaços de laser.

Figura 22 - Centro aquático Nacional em Pequim
Fonte: *Wikimedia commons*; autor Charlie Fong

Em climas quentes, sua utilização precisa ser bem avaliada, devido ao efeito estufa que produz. Marcas registradas de ETFE: *Tefzel*®, da DuPont; *Fluon*®,da Asahi Glass Company ; *Neoflon*®, da empresa *Daikin* e *Texlon*®, da Vector Foiltec.

Outro material é um filme **100% PTFE,** feito a partir de PTFE de alta resistência. Oferece grande durabilidade, resistência, flexibilidade e transmite 40% de luz (ARMIJOS, 2008). A principal desvantagem é o elevado preço. O produto é produzido pela empresa que resultou da associação entre a W. L. Gore & Associates (EUA) e a Sefar AG (Heiden, Suíça), sob a marca Tenara® *Archtectural Fabrics*.

Os produtos feitos com HDPE (polietileno de alta densidade) podem ser produzidos por diferentes tecnologias e usados para sombreamento ou proteção (chuva). A expectativa de vida varia entre dez a doze anos.

As membranas em **aramida** não são muito comuns, provavelmente devido ao elevado custo dessa fibra. A aramida é uma poliamida aromática e está dentro da categoria das fibras sintéticas, derivadas do petróleo. É bastante conhecida no segmento têxtil e utilizada principalmente para fazer tecidos usados na blindagem e proteção balística. É um material de alta resistência à tração e à propagação de rasgo, além de baixo peso (quando comparada ao vidro) e alto módulo de elasticidade. A marca Kevlar® é bastante prestigiada e conhecida no mercado. Em toda bibliografia pesquisada, a única menção de estrutura com membrana feita com tecido de Aramida (Kevlar®) foi do engenheiro Félix Escrig. A estrutura mencionada pelo autor é a cobertura retrátil de 40.000m² do Estádio Olímpico de Montreal (Figura 23). A membrana utilizada é de **aramida com recobrimento de PVC**, com gramatura total de 2.200 g/m²; sendo a gramatura do tecido 1.100 g/m² e o fio usado para a produção do tecido foi de título 1.420 denier (ESCRIG e SANCHES, 2002).

Figura 23 – Estádio Olímpico de Montreal, Canadá. Fonte: autora

3.6 **Ensaios e normas técnicas**

Cada país possui seu conjunto de normas técnicas para os materiais usados na construção civil; alguns países da Europa utilizam normas da Comunidade Europeia. Blum *et al*. (2004) falam sobre os itens que devem ser analisados para as estruturas de membranas, dentre eles a resistência mecânica e estabilidade do material, proteção contra o fogo, isolamento acústico e térmico.

O arquiteto Armijos (2008), esclarece sobre a importância da escolha de um material que tem como base sua resistência ao fogo. Ele cita como referência a NFPA 701, comumente usada para teste de materiais têxteis e filmes para essa aplicação. Ele ainda cita a ASTM E-84, 108 e 136 também usadas para os testes de membranas.

A norma europeia de classificação de reação ao fogo dos materiais flexíveis de construção com espessura inferior a 5mm é a UNE 23727:1990, com escalas entre M0 e M4, de maior a menor efetividade, respectivamente. As membranas, em geral, estão dentro da classificação M2.

O comportamento das membranas frente ao fogo depende da matéria prima do tecido, do acabamento e tipos de aditivos e também das junções entre as folhas que compõem a estrutura. Numa situação de incêndio, em geral a fumaça se acumula na parte superior da estrutura, dando tempo de as pessoas serem evacuadas do local sem grandes problemas. No caso das membranas de PES/PVC, as junções se abrem quanto a temperatura interna chega aos 100 ^{0}C. Próximo dos 250 ^{0}C, o material se funde e é perfurado pelo fogo, fazendo com que a fumaça e o calor sejam expelidos para fora do ambiente (LLORENS, 2011). Se a membrana recebeu um aditivo para retardar a chama, o fogo se extingue quando a chama for afastada. Quando se trata das membranas de vidro/PTFE, por serem praticamente incombustíveis, a fumaça e os gases tóxicos ficam por mais tempo dentro do ambiente, porque as junções demoram mais tempo para se abrirem. Esta característica pode ser um ponto bastante negativo e precisa ser levada em consideração na fase inicial do projeto.

Além do ensaio de resistência à tração convencional, alguns profissionais de setor recomendam que seja realizado um ensaio de resistência biaxial. Os doutores

Blum, Bögner e Némoz (2009) comentam que os testes de ruptura bidimensionais são importantes devido à complexidade da geometria das estruturas que podem gerar diversos elementos de incerteza.

A Tabela 12 apresenta algumas das principais características a serem analisadas e respectivas normas de ensaio. As informações foram extraídas de diferentes fontes; parte delas foi copiada do Anexo A3 do Guia Tensinet n°6 (p. 289 e 290); parte foi tirada livro do autor SANTOMAURO (2008, p.26) e parte da lista de Normas ABNT para artigos têxteis, disponíveis no site internet desta associação.

Tabela 12 – Resumo de Normas Técnicas para fios, tecidos e membranas

Características técnicas	Unidade	Norma na Europa	Norma ISO	Normas nacionais	Norma EUA
Fios e Tecidos					
Peso (gramatura)	g/m²	EN 22286	ISO 2286-2	ABNT NBR 10591	
Tipo de tecido			ISO 9554	NF G 07155; ABNT 13483	
Contextura (urdume e trama)	fios/cm		ISO 7211-2	DIN 53853 NF EN 1049-2; ABNT 10588	
Título dos fios	dtex	EN 1973		DIN 53830; ABNT NBR 13214	
Resistência à tração e alongamento	N/tex, %	EN ISO 2062	EN ISO 2062	ABNT NBR 13385	ASTM D751
Membrana					
Resistência à tração e alongamento	daN/5cm		EN ISO 1421	NF G 37103; BS 3424 ; DIN 53354	ASTM D4851
Resistência ao rasgamento (urdume e trama)			EN ISO 4674-2	NF G 37130; BS 7304 ; DIN 53363	ASTM D4851
Alongamento à ruptura			EN ISO 1421	NF G37103	
Aderência			EN ISO 2411 e ISO 5978	NF G37107; BS 3424 ; DIN 53357	ASTM D751
Não combustibilidade			ISO 3941	NFP 92 503 ; DIN 4102 ; BS 7837	ASTM E-136
Propagação de chama (intermitente)					ASTM E-108
Propagação do fogo				BS 476 part 6	
Emissividade e absorção de raios infravermelhos					ASTM C423-89
Transmissão de luz				NFP 38511	ASTM D1494 ; ASTM E-903
Transmissão solar / reflectância				ASHRAE 74-73	ASTM E 424-71
Envelhecimento acelerado		NF EN 12280	DIN EN ISO 4892		

ISO = Norma Internacional; EN = Norma Europeia; BS = Norma Britânica; DIN = Norma Alemã; NBR Norma Brasileira. ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas; NF = Norma Francesa, ASTM = *American Society for Testing and Materials.*

Para Santomauro (2008), o controle de qualidade deve abranger diversas características; dentre elas: peso, espessura, contextura (fios por centímetro nos sentidos de urdume e trama), tensão à ruptura (axial e biaxial) da membrana sozinha e da membrana com o sistema de engate da estrutura; sistema de tensão/deformação para avaliar a elasticidade, aderência do recobrimento do

tecido, resistência à fadiga, a pregas, à abrasão, à absorção e penetração de água e de produtos químicos, aderência de sujeira, resistência e comportamento a baixas e altas temperaturas, comportamento com relação ao fogo, comportamento térmico, acústico e em relação à luz.

Segundo Seaman e Bradenburg (2000), o alongamento de ruptura das membranas de PVC pode variar entre 20% e 50%. Do ponto de vista de design e de engenharia, o alongamento na ruptura não é tão importante quanto o alongamento nas cargas de trabalho da estrutura. O tecido revestido com PVC apresenta um alongamento muito maior na carga de trabalho em comparação com outros materiais de construção. É muito importante que o engenheiro leve em consideração os valores de alongamento e as variações de valores de rolo para rolo de tecido. O tipo de fio, a construção do tecido e o processo de recobrimento podem afetar os valores. Os testes biaxiais podem ser realizados por meio de diferentes métodos. Em geral, cada fabricante de membrana escolhe o método que considera mais adequado.

No Brasil, existem normas para análise de fios e tecidos (citadas na Tabela 12); mas não existem Normas para as membranas. Cerca de 80% dos profissionais entrevistados na pesquisa qualitativa deste trabalho apontaram a 'falta de Normas Técnicas e legislação específica' como sendo uma das desvantagens de se trabalhar com este essa solução arquitetônica.

3.7 **Processo de montagem: Padronagem**

No processo de montagem a precisão dos detalhes de corte das partes do material têxtil que vão compor a membrana de cobertura é essencial para o bom desempenho e pleno êxito do projeto. Para se conseguir tais padrões de corte, é necessário um modelo da estrutura tensionada. Para Carrió (2011), a arte de 'desenhar' uma estrutura de membrana é a arte de controlar as condições perimetrais e a geometria de suporte, de modo que se consiga gerar e obter a melhor forma possível.

Conforme Obata (2010), um dos parâmetros que pode proporcionar impacto visual positivo na arquitetura têxtil é o desenho gerado pela junção das partes que compõem a estrutura. A autora faz um paralelo da arquitetura têxtil e estruturas tensionadas com o setor de vestuário:

> ...Portanto, da semelhança entre a alfaiataria e até do design de moda utiliza-se das orientações das costuras considerando que o direcionamento das costuras horizontais ou verticais em roupa pode conduzir efeitos ao usuário como aparentar-se alto e magro e forte, portanto, o designer de tecido arquiteturas têxteis deve considerar o padrão das faixas de costuras e como podem direcionar o olhar como, por exemplo, para o alto e para as costuras na bainha dos cabos e costuras entre painéis (OBATA, 2010, p.119).

O engenheiro Berger (2005) menciona que, no processo de produção das estruturas de membranas os padrões são gerados por computador; na montagem, o material é inicialmente submetido um nível determinado de tensão (pré-tensão). Em seguida, um esforço biaxial é aplicado ao conjunto, sendo que nessa fase, os fios de urdume ficarão mais torcidos e os de trama menos torcidos até que a pressão exercida em cada ponto de cruzamento dos fios esteja em equilíbrio. Simultaneamente, a tensão adicional provoca um ‘alisamento’ das fibras nas duas direções (urdume e trama). Com isso, pode haver um ‘encolhimento’ numa direção e um ‘alongamento’ em outra direção. Para compensar essas variações de comprimento – que também podem variar entre os diferentes tipos de materiais e até de rolo para rolo de membrana – é necessário que, previamente, o material seja submetido a ensaios de laboratório para se conhecer seu comportamento frente às cargas. A fim de compensar a alteração no material durante o tensionamento, as tiras podem ser cortadas mais curtas ou mais longas.

Drew (1976) escreve que a padronagem viabiliza a formação de superfícies tridimensionais de dupla curvatura, e este padrão é formado com tiras soldadas, transformando-se numa ‘abstração formal de grande pureza matemática que define a forma orgânica da membrana’. Para Bradatsch *et al*. (2009), os padrões de corte são formas bidimensionais que, uma vez unidas e tensionadas, formam a

superfície tridimensional buscada. Na Figura 24 é possível ver as tiras soldadas que formam a superfície das seis conoides que compõem a cobertura.

Figura 24 – Cobertura tensionada do Shopping Pátio Osasco/SP
Fonte: autora

Para Sastre (2011), alguns fatores precisam ser levados em consideração, tais como: facilidade de desenho, facilidade de corte, largura da membrana, aspecto interno desejado e composição de cores. Definir os padrões significa desenhar linhas sobre a superfície curva, tanto no caso de forma anticlástica quanto de forma sinclástica. Como as superfícies são curvas, em geral chega-se a padrões ligeiramente curvados (em forma de banana), que são mais fáceis de serem traçados, porém, provocam desperdício de material. Por isso, sempre que possível, devem ser substituídos por tiras um pouco mais retas usando-se linhas geodésicas. Lembrando que uma linha geodésica é aquela que, quando traçada sobre uma superfície curva, sua normal, em qualquer ponto, coincide com a normal da superfície no mesmo ponto.

Barnes (2009) acentua que durante o processo de cálculo as membranas pré-tensionadas devem apresentar tensões uniformes, ou com pouca variação, em toda superfície. Não é necessário que as forças sejam iguais nos sentidos de urdume e trama, embora isto seja usual. As direções de urdume e trama do tecido em geral seguem as direções das tensões, sendo que, normalmente, os fios no

sentido do urdume ficam no sentido longitudinal da tira, e os fios de trama ficam na transversal da tira. Mas a forma final da estrutura é determinante para a pré-tensão em cada uma das direções. Os modelos numéricos usados para o cálculo das superfícies tensionadas precisam levar em conta as condições de não linearidade e de deformação do material. A superfície de dupla curvatura é obtida pelas tiras do material têxtil, não tensionado, que serão soldadas para formar a superfície a ser tensionada.

> Para se evitar rugas e também por razões de economia de material e de precisão, as bordas dos padrões e das uniões devem seguir trajetórias geodésicas sobre a superfície. Estas linhas geodésicas representam a menor distância entre dois pontos da superfície, ou a trajetória que uma tira plana de material pode seguir sem sofrer deformação (BARNES *et al.* 2009, p.175).

Esta 'padronagem' (Figura 25) é definida pelo projetista (que normalmente usa um CAD específico para fazer os cálculos e/ou também maquetes feitas com tecidos ou malhas com elastano) e deve levar em consideração as cargas de tensão, o tipo de membrana, a largura da bobina de membrana (em geral entre 1,80m e 3,00m, depende do fornecedor) e o desperdício de material. O corte do material pode ser feito com tesoura ou a laser e a largura das junções aumenta em função do tipo de membrana e da resistência desejada para a junção. As membranas mais finas e de menor resistência (tipo I) requerem uma junção de 40mm enquanto que membranas mais resistentes (tipo V) requerem junções de 100mm (PARRA, 2011).

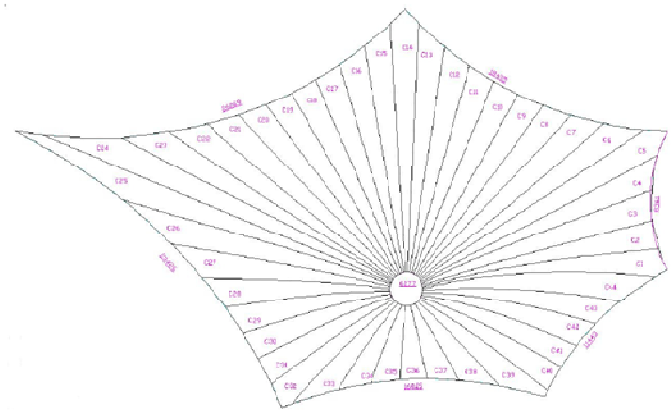


Figura 25 – Exemplo de plano de padronagem
Fonte: adaptada de Parra (2011)

A união de duas tiras pode ser feita por costuras, solda ou colagem; porém, em qualquer um dos casos, a união deve assegurar as propriedades básicas do material têxtil em questão, tais como resistência à tração, resistência ao rasgamento, impermeabilidade e outras. No caso de costura, é provável que seja necessário aplicar um sistema de impermeabilização ou proteção especial para que a junção e a costura apresentem comportamento frente à água igual ao restante da cobertura.

Segundo Llorens (2011), enquanto o comportamento das membranas soldadas é plástico, o comportamento das membranas costuradas é elástico até à ruptura, fato que faz com que a redistribuição das tensões com nesse tipo de junção seja mais limitado. De acordo com o autor, existe certa tendência para que no futuro se busquem soluções de confecção de membranas de uma só peça.

Segundo Bubner (2005) diz que existem três diferentes técnicas de junção: com ar quente, com elemento aquecido de solda e por alta frequência. No primeiro caso, as duas bordas a serem unidas são colocadas uma sobre a outra, aquecidas com ar quente e pressionadas com um rolo; tem-se dessa forma a união das duas partes. No segundo caso, a soldagem do elemento pode ser do tipo ‘soldagem de cunha aquecida’ (usada para PES/PVC) ou a soldagem do ‘elemento indireto’ que é adequada para vidro/PTFE e utiliza um filme (da família do PTFE) como elemento de apoio de soldagem. A principal técnica de soldagem para as membranas de PES/PVC é por alta frequência. Nesta técnica, as bordas das tiras de membranas a serem soldadas são aquecidas até à temperatura de soldagem, e simultaneamente pressionadas. O aquecimento é feito por meio de eletrodos da máquina de solda no campo de alta frequência. O equipamento de solda pode tanto estar numa oficina de montagem (máquina fixa) quanto ser portátil (levado para o local de montagem). A solda ocorre na camada de revestimento e não no tecido.

Observa-se que as técnicas de corte e junção contribuem para resaltar a forma da estrutura tensionada, compondo um todo harmonioso com formas leves e belas que atraem o olhar e valorizam a estática do espaço onde estão montadas.

4 A ARQUITETURA TÊXTIL NO BRASIL

4.1 – **O cenário brasileiro**

Quando se pesquisa o cenário da arquitetura têxtil no Brasil, de imediato se constata a falta de livros e artigos técnicos sobre o assunto. De vez em quando, alguns artigos são publicados em revistas de arquitetura; e também existem relativamente poucos profissionais que trabalham no segmento e que tenham publicado livros e/ou artigos técnicos sobre o tema. Parte das informações aqui trazidas foi retirada de material disponível em teses, dissertações, revistas, *sites* ou, então, do contato pessoal com alguns profissionais que atuam na área.

Em 1998, no artigo intitulado "Alivie a tensão", publicado na revista *Téchne* n°35, lê-se que a utilização de sistemas estruturais tracionados estava bem longe da realidade europeia, norte americana ou asiática. Segundo o autor do artigo, no Brasil as obras que adotam esse conceito, em sua maioria, são pontes pênseis e pontes estaiadas. Quando se trata de estruturas para cobertura de grandes vãos, usa-se pouco esse tipo de arquitetura. Além da falta de cultura técnica específica, prevalecem conceitos equivocados sobre a durabilidade deste tipo de obra, sendo que a dependência de materiais importados ainda é significativa.

O professor doutor Ruy Marcelo Pauletti que publicou diversos artigos sobre o assunto, e foi entrevistado pelo jornalista que escreveu o artigo acima. Pauletti diz que dois dos fatores que impedem a disseminação desse tipo de estrutura no Brasil são a falta de materiais e conceitos equivocados sobre sua durabilidade. Ele menciona também que, na época, ano de 1998, praticamente existia apenas um fabricante de cordoalhas de aço (Cimaf, do grupo Belgo-Mineira) e que as membranas produzidas no Brasil "não são específicas para arquitetura têxtil e atendem apenas o mercado de obras de caráter temporário, com produtos de durabilidade, em média, inferior a dez anos".

O texto fala que estava prevista a construção de um conjunto de coberturas distribuídas ao longo da orla do mar, em Salvador, e que o projeto estava por conta da Tensotech, especializada em arquitetura têxtil, que tem várias obras na

capital baiana. Em 1998, ainda segundo esse artigo da revista *Téchne*, Salvador era, provavelmente, a capital brasileira com maior concentração de estruturas tensionadas. A seguir, o último parágrafo deste artigo publicado em 1998:

> O mundo exibe obras magníficas, concebidas basicamente com cabos e tecidos. Por aqui, elas são vistas com certa desconfiança. Falta de cultura técnica dependência de materiais importados e expectativa subestimada sobre a durabilidade são as grandes barreiras ao emprego das tensoestruturas no Brasil. Apesar disto, os sistemas estruturais tracionados, quando aplicados à cobertura de grandes vãos, são considerados imbatíveis em termos de leveza. (Revista Téchne, nº35, 1998).

Na edição n°90 da revista *aU/Arquitetura e Urbanismo*, ano 2000, a jornalista Luciana Benvengo, escreveu que as coberturas tensionadas podem ser vistas tanto em obras pequenas como, por exemplo, um ponto de ônibus, quanto em obras grandes, como um estádio, um autódromo ou um aeroporto. Mas, no Brasil, ainda são usadas apenas nos projetos menores, como conchas acústicas e/ou exposições temporárias.

Em 2002 acontece no Brasil o '**I Simpósio Brasileiro de Tensoestruturas**' promovido pela Escola Politécnica e pela FAU (ambas da Universidade de São Paulo). O evento teve como convidado especial o famoso arquiteto alemão – aqui citado várias vezes - professor doutor Frei Otto, além de palestrantes muito conhecidos e respeitados no segmento, tais como os professores doutores: Todd Dalland (USA), Massimo Majowiecki (Itália), Vincenz Sedlak (Austrália) e Baltazar Novak (Alemanha). O trecho abaixo está no *link* do evento no *site* do Laboratório de Mecânica Computacional (POLI/USP):

> O objetivo do evento é estimular o aprimoramento do estado da arte das tensoestruturas e fomentar o interesse da sociedade por este tipo de solução estrutural, por meio da troca de experiência entre palestrantes internacionais e a comunidade nacional de pesquisadores, projetistas, fabricantes, fornecedores de materiais, clientes e estudantes interessados pelos progressos da área (I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TENSOESTRUTURAS, 2002).

Durante sua estada, no Brasil, Frei Otto concedeu uma entrevista para a revista *aU/Arquitetura e Urbanismo*. Trechos desta entrevista foram publicados na edição n°102 de junho de 2002, no artigo 'Uma arquitetura para a paz'. A jornalista

Valentina Figuerola pergunta na entrevista que, apesar de o arquiteto Oscar Niemeyer ser contemporâneo do arquiteto Frei Otto, suas raízes são diferentes. A resposta do arquiteto alemão é a seguinte:

> Oscar Niemeyer se interessa muito pela parte estética dos edifícios. Sem dúvida eu também. Mas suas raízes estão mais próximas de Le Corbusier do que as minhas. Meu trabalho é mais enraizado no movimento verde, na filosofia e arte que surgiram na Alemanha pós-segunda Guerra Mundial. As cidades haviam sido destruídas e a maneira como sua reconstrução seria realizada era muito questionada. Pairava a seguinte dúvida no ar: vamos cometer os mesmos erros nas cidades ou vamos encontrar uma nova filosofia que permita ao homem viver em paz na terra? Para mim, a tarefa a arquitetura é permitir que a humanidade viva em paz na superfície do planeta (Frei Otto in: revista *aU/Arquitetura e Urbanismo* – n°102, junho 2002).

As estruturas de membrana empregadas em coberturas podem ser uma solução economicamente viável, eficiente e esteticamente agradável. Todavia, mesmo com essas características, elas são pouco conhecidas, estudadas e empregadas no Brasil (OLIVEIRA, 2005). Para o arquiteto J.W.Garcia, o conceito de arquitetura têxtil está associado ao ‘efêmero’, ‘transitório’ e ‘fluídico’, tendências que, segundo ele, foram assumidas nos anos 1990 pelas escolas americanas e europeias. Em entrevista para a revista *aU/Arquitetura e Urbanismo* n°121 de 2004, ele afirma que “sob o ponto de vista tecnológico, a produção brasileira de tensoestruturas é praticamente nula”. Na mesma revista o engenheiro Voldemir Braz Farki menciona que no Brasil faltam normas específicas para o setor e “por isso, utilizamos as normas francesas e italianas”. Ele também relata que a estrutura é rapidamente montada, utilizando-se equipamentos convencionais da construção civil, tais como guindastes, gruas, catracas e macacos hidráulicos que aplicam a carga de retesamento.

Nos anos 1990 prevalecia a noção de que o projeto e a análise das estruturas de membranas correspondiam a um processo especializado, o qual requeria o emprego de programas delicados (*special purpose programs*) (TABARROK & Qin 1997); (PAULETTI, 2001). Já em 2003, Pauletti explica que, devido à experiência acumulada e à disponibilidade de sistemas computacionais, o processo de cálculo pode ser entendido como um processo padrão em condições de ser desenvolvido

por meio de um bom programa generalista, capaz de realizar análises estruturais não lineares de cabos e membranas (PAULETTI, 2003).

A engenheira Oliveira (2005), em sua tese de doutorado sugere um modelo de pesquisa integrado, envolvendo o sistema construtivo, o processo de projetar e os métodos de análise das estruturas de membrana empregadas em coberturas. Seu modelo foi pensado visando o desenvolvimento dessa tecnologia no Brasil. Uma vez que a construção e o projeto deste tipo de arquitetura envolvem diferentes áreas de conhecimento, ela criou uma figura em forma de disco composta por faixas que foram divididas em três setores que representam os temas das pesquisas. Os três setores são: processo projetar, análise estrutural e sistema construtivo que representam a linha de pesquisa que compõem o modelo. São treze os setores que representam os temas de pesquisas a serem executadas nas referidas linhas de pesquisas: modelos matemáticos, detalhamento da estrutura, métodos de análise, definição das ações, forma/estética, contorno, ensaios, desenvolvimento de materiais, custos, processos a construir, modelos de processos a projetar, computação gráfica, ferramentas de comunicação,

Em 2006, Pauletti introduziu o Método das Densidades de Força Natural (MDFN), que é uma extensão do método anteriormente usado, chamado MDF (Método das Densidades de Força), em sua origem proposto no contexto das estruturas de cabos (PAULETTI, 2011). Na terminologia da mecânica dos sólidos, o MDF pode ser entendido como um caso especial de análise de equilíbrio resultando um sistema linear de equações (PAULETTI, 2011). Segundo Pauletti o método MDFN pode ser usado para a busca de forma de membranas contínuas; ele preserva a linearidade do método original (MDF) e permite o uso de malhas irregulares, típicas da modelagem de membranas, de forma livre.

Em 2010 a arquiteta Sasquia Obata, realizou um estudo investigativo das atividades de projeto das arquiteturas têxteis e tensoestruturas envolvendo obras feitas aqui no Brasil. O estudo utilizou exemplos de edificações com formas simples e formas complexas; teve como objetivo “conduzir uma postura de busca e melhoria de compatibilidades com as características formais das arquiteturas têxteis ou tensoestruturas complexas e também de melhor entendimento de seus paradigmas singulares”. Ela apresentou uma avaliação qualitativa de doze condicionantes de projeto em cinco obras de pequeno e médio portes. Dentre os

resultados do estudo, ela constatou que a membrana de PES/PVC foi a membrana mais utilizada devido à sua flexibilidade projetual e por apresentar menores restrições técnicas quanto às aplicações, e ainda por ser aderente a obras de pequeno e médio portes. Ela visitou, fotografou, analisou as cinco obras (incluindo tendas e estruturas tensionadas) e concluiu que alguns dos condicionantes eram facilmente consolidados nas obras, servindo para avaliar a conjuntura dessa tecnologia no Brasil. Na conclusão final do trabalho ela escreve:

> Como resposta específica conclui-se que muitas condicionantes técnicas e projetuais das arquiteturas têxteis e tensoestruturas não são atendidas e atualmente não são priorizadas, mesmo nas tendas não se percebeu o domínio tecnológico mínimo... As formas de conexões e os equipamentos utilizados ainda prescindem de maior embarque formal e de refinamento estético, diretriz aqui indicada por entender que diferentemente de outros sistemas construtivos as conexões das tensoestruturas e arquiteturas têxteis são de natureza aparentes e suscetível a degradações e problemas de manutenção, portanto de destaque visual e complexidade projetual e tecnológica a ser atendida (OBATA, 2010, p.355).

Mais recentemente, em abril de 2011, a revista *Téchne* n°169 tem como matéria de capa: 'Coberturas com Membranas'. O texto, escrito por Ana Paula Rocha, traz informações sobre o assunto e sobre obras realizadas no Brasil. Ela escreve que os dois grandes eventos, Copa de Mundo em 2014 e Jogos Olímpicos de 2016, estão movimentando o mercado de estruturas com membranas, soluções que podem ser adotadas em estádios, aeroportos, centros de convenções, obras industriais, espaços culturais. São indicadas para grandes vãos livres e por serem uma boa solução para resolver aspectos funcionais, estéticos e estruturais.

Para Rocha (2011), apesar dos profissionais brasileiros estarem cientes da leveza e da rapidez que este tipo de estrutura proporciona, poucos têm perfeito domínio do processo de projeto e análise estrutural. A dificuldade começa pela escolha das características dos materiais e vai até a metodologia do projeto. As membranas mais usadas no Brasil são as feitas com tecidos de poliéster recoberto por PVC. Na Europa e Estados Unidos tem havido um aumento do uso de membranas de vidro com PTFE. Com relação às normas técnicas para os cálculos ela escreve o seguinte:

> Com a falta de normas técnicas brasileiras e internacionais para o cálculo e dimensionamento de estruturas tensionadas com membrana, projetistas optam pelo uso de softwares que facilitam a análise do comportamento das coberturas. No projeto do Mercado Aberto de Goiânia, o professor Ruy Marcelo de Oliveira Pauletti, da Poli-USP, utilizou o SATS (*A System for Analysis of Taut Structures*), para verificar as tensões máximas e deslocamento da membrana a partir da incidência do vento (ROCHA,2011 in: REVISTA TÉCHNE, nº169).

Conforme Bose (2011), a membrana feita a partir do tecido de vidro com PFTE tem muitas vantagens se comparada com a membrana de Poliéster com PVC, pois tem maior durabilidade, é mais fácil de limpar e é incombustível (a de PVC apenas não propaga a chama). Porém, a membrana de vidro é quase cinco vezes mais cara que a de poliéster. Na mesma matéria dessa revista, Bose também comenta que, na etapa do projeto referente à determinação dos padrões de corte, a configuração inicial da estrutura planejada é convertida em um conjunto de peças e usadas como moldes para o corte das membranas. Os rolos de membranas são chamados de bobinas e as larguras usuais são 1,40m ou 2,50m. Segundo ela, para cada tipo de projeto tem-se um corte diferente das membranas. O formato do corte pode ser circular, radial ou em tiras.

Com relação à fabricação e ao fornecimento de membranas, são duas empresas locais (Sansuy e Ledervinmatec), e quatro empresas estrangeiras (Serge Ferreri, Melher, Naizil e Verseidag) que produzem as membranas em seus países de origem. As estrangeiras oferecem uma gama completa, ou seja, cinco tipos de membranas, além de opções de cores e com acabamentos diferenciados. A empresa Sioen (Bélgica) não foi mencionada como fornecedor para o mercado brasileiro por nenhum dos entrevistados desta pesquisa, embora ela seja importante *player* no mercado internacional.

Como atualmente a situação cambial é desfavorável para as empresas locais (real muito valorizado), os produtos importados chegam com preços competitivos. Além disso, as empresas estrangeiras têm forte *know-how* no segmento, são conhecidas mundialmente, possuem excelentes materiais promocionais além de produtos de reconhecida qualidade. Desta forma fica claro que a competição é muito acirrada, uma vez que são relativamente poucas empresas montadoras deste tipo de estrutura.

Resumindo, pode-se dizer, então, que são seis fornecedores de membranas, sem se levar em consideração as empresas asiáticas que já começam a vender aqui para os mercados de aplicações menos exigentes do que as estruturas tensionadas, tais como lonas para lateral de caminhões *siders* e para armazéns industriais. Algumas destas empresas divulgam na internet, artigos para tal aplicação. E para os seis fornecedores existem cerca de dezoito montadoras de estruturas tensionadas, potenciais clientes; ou seja, um mercado extremamente competitivo. Mesmo assim, a maior parte dos entrevistados respondeu tratar-se de um setor com expectativa de médio crescimento (análise completa no item 5).

4.2 **O setor têxtil brasileiro**

Como quinta maior indústria têxtil do mundo, o setor têxtil brasileiro é formado por um conjunto de aproximadamente 30 mil empresas instaladas em todo território nacional. São empresas de todos os portes que, juntas, geram um faturamento anual de US$ 67 bilhões e empregam mais de 1,7 milhão de trabalhadores, segundo informação obtida no *site* da ABIT (Associação Brasileira da Indústria Têxtil). A maior parte (75%) do que é produzido por esta indústria é consumida dentro do próprio país. A cadeia de produção é bem diversificada e completa.

A cadeia produtiva é verticalizada e composta por fiações, tecelagens/malharias, empresas beneficiadoras, (tinturaria, acabamento, lavanderias e outras), confecções e varejo. O Estado de São Paulo responde por 28% da produção têxtil no país. As exportações vão principalmente para Argentina, Estados Unidos, Paraguai, México e Uruguai. As importações, tanto matérias-primas quanto produtos acabados (confecções), vêm da China, Índia, Indonésia, Argentina e Coreia do Sul.

Ainda segundo a ABIT, a balança comercial do setor têxtil brasileiro registrou em janeiro de 2011 um déficit recorde de US$ 342,3 milhões. O déficit resultou de importações no montante de US$ 451,9 milhões, contra exportações realizadas em igual mês de US$ 109,6 milhões. (Notícia publicada na página *Exame.com* dia 22/2/2011, mencionando ABIT como fonte da informação).

Conforme dados do MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior), em notícia publicada em 24/2/2011, no jornal *Valor Econômico*, *Secção Empresas,* as importações de têxteis chegaram a US$ 5, 037 bilhões em 2010, um crescimento de 44,7% em relação ao ano anterior. Os tecidos ainda representam o maior percentual de produtos importados, com US$ 1,36 bilhão, seguidos por confecções, com US$ 1,24 bilhão.

Um dos principais motivos do crescimento das importações é o câmbio. A forte valorização do real gera uma desvantagem competitiva. Além disso, juros altos e expressiva carga tributária, com a agravante de retração da demanda dos países desenvolvidos também contribuem de forma negativa para a situação das empresas brasileiras.

A China é o líder mundial na fabricação de fibras manufaturadas (sintéticas e artificiais); sua produção corresponde a um terço da produção mundial. No segmento de fibras sintéticas, o avanço na tecnologia de produção aumentou a participação dessa matéria-prima dos 15% na década de 1970 para 65% atualmente.

Desde a década de 60 de século XX são produzidas fibras e multifilamentos artificiais e sintéticos no Brasil; a produção atual é de aproximadamente 380 mil toneladas por ano, volume que representa cerca de 40% do consumo industrial local. Tal produção gera um faturamento de US$ 1,06 bilhão e emprega em torno de 9 mil pessoas, são dados de 2010, segundo informação publicada no *site* da ABRAFAS (Associação Brasileira de Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas).

O setor de fibras artificiais e sintéticas integra o chamado "complexo petroquímico-têxtil" e caracteriza-se como um setor industrial intensivo na utilização de capital e matéria-prima, circunstância que torna as empresas do setor altamente dependentes de frequentes investimentos em pesquisa e modernização, como forma de aumentar a eficácia de suas operações industriais, reduzir seus custos e assegurar a sua competitividade internacional.

O poliéster é a fibra sintética mais consumida no Brasil. O consumo brasileiro de fibras sintéticas e artificiais está distribuído da seguinte forma: 66% poliéster,

16,7% polipropileno, 11,6 % poliamida e 5,7% acrílico. Segundo a ABIT, em 2009, o consumo de poliéster foi de 404.450 toneladas.

A membrana usada na arquitetura têxtil é produzida a partir de um tecido técnico, feito com filamento de poliéster de alta tenacidade com características técnicas já detalhadas nos subitens 3.1 e 3.2. Das duas empresas brasileiras que fabricam este tipo de membrana no Brasil uma delas, a LedervinMatec, produz o próprio filamento de poliéster alta tenacidade e a Sansuy terceiriza a tecelagem e/ou compra de tecelagens locais que, na maior parte das casos, importa filamento de poliéster da Ásia. As outras empresas importam a membrana pronta de seus países de origem, conforme já mencionado anteriormente.

4.3 As empresas que atuam no segmento

Quanto à montagem, no Brasil existem várias empresas atuando no segmento de tendas, galpões e coberturas; mas, relativamente poucas empresas atuando na montagem de estruturas tensionadas; Obata (2010) menciona que levantou apenas cinco empresas nesse setor em 2010: Pistelli, Tensotech, Fidler,Tecnostaff e Technica.

Para o presente trabalho, além da pesquisa na internet e na bibliografia disponível, o contato com profissionais da área foi de fundamental importância para confirmar a lista das empresas que atuam neste segmento de montagem de estruturas com membranas tensionadas. Foi possível gerar uma lista com dezoito empresas espalhadas por diferentes estados, com tecnologia/competência para montar as estruturas. São elas: Birdair, Canvas Coberturas, Cobertex, Estrutural Engenharia, Formatto, Horus Coberturas, Nautika, Merlin Estruturas, Pistelli, SEPA (Soluções de Engenharia e Projetos das Américas), Solflex, SPRECH, Tecnostaff, Tensitex, Tensobras, Tensor/Technica, Tensotech e Tópico Coberturas. Algumas delas estão mais focadas em alguns subsegmentos, como por exemplo, circos, estruturas infláveis e estruturas temporárias para eventos. As estruturas infláveis (formas sinclásticas descritas no subitem 2.4) também são estruturas tensionadas; porém, na maior parte das vezes, são projetos que

requerem membranas com especificações técnicas menos rigorosas, sendo que o produto produzido localmente, em geral, atende às necessidades desta aplicação. Além disso, costumam ser usadas como alternativas de armazenagem para temporária.

Como acontece em todas as áreas, fusões entre empresas, novas empresas ou encerramento de atividades de outras, também ocorre neste setor. Notou-se que é relativamente comum a parceria entre empresas com a participação de uma equipe de profissionais ou contratação de profissional autônomo, para a execução de um projeto em particular. Por exemplo, uma empresa faz o projeto inicial, um engenheiro faz o projeto do teto (com membrana), outra empresa faz a parte da estrutura metálica e outra executa a obra. Por isso, ao consultar as "obras realizadas" pela empresa, algumas vezes uma mesma obra aparece no portfólio de duas ou mais empresas. Isso acontece principalmente em projetos de maior complexidade.

Outro ponto que gerou algumas dúvidas foi a fusão ou maneira de atuar de algumas das empresas, dentre elas a Fiedler, por exemplo. Seus sócios estão trabalhando para a SEPA, e não foi possível confirmar se a Fiedler foi incorporada ou se continua atuando separadamente. Por isso existe a possibilidade do número total de empresa ser um pouco maior um pouco menor do que dezoito. De qualquer forma a resposta dos fabricantes à pergunta sobre o número de empresas que atuam neste segmento foi a seguinte:

Pergunta n°6 do questionário para fabricantes (Anexo 2) foi : *Aproximadamente, qual o número de clientes de membranas para estruturas tensionadas no Brasil?* A resposta foi diferente para cada fabricante (F1, F2 e F3); porém ela confirma que o número de empresas montadoras é realmente baixo, ou seja, não ultrapassa vinte empresas em todo país.

Tabela 13 – Resposta dos fabricantes sobre o número de clientes (montadoras)

Número de empresas	F1	F2	F3
Entre 1 e 5			x
Entre 5 e 10	x		
Entre 10 e 15		x	

O contato feito com essas empresas montadoras foi para que o questionário fosse respondido pelo profissional que tivesse maior familiaridade e experiência com projetos de estruturas tensionadas. Nem todas as tentativas foram bem sucedidas; alguns profissionais não deram retorno aos recados ou mensagens enviadas. Mas, no compito geral, o resultado foi considerado satisfatório, uma vez que doze questionários foram respondidos por profissionais que atuam em projetos/montagem de estruturas, e mais três questionários foram respondidos por profissionais que trabalham para as empresas fabricantes. Assim sendo, a amostragem pode ser considerada representativa.

A seguir, em ordem alfabética, um breve perfil de cada empresa:

Birdair (Taiyo Birdair do Brasil) – São Paulo/SP

Empresa multinacional com escritório em São Paulo e atuação no segmento em 30 países. De acordo com informações disponibilizadas no *site*, a empresa atua no mercado há mais de 50 anos, especialista em arquitetura têxtil, com mais de 1.200 estruturas montadas de diversos tipos e tamanhos, perfazendo cerca de 30 milhões de metros quadrados de estruturas com membranas.

Canvas Coberturas e galpões – São Paulo/SP

Empresa nacional, que, a exemplo da maior parte das que atuam no setor, além das estruturas tensionadas, também desenvolve, fabrica e monta galpões industriais, tendas, e armazéns infláveis.

Cobertex – Mauá/SP

Empresa nacional com 30 anos de atuação no mercado de estruturas. Trabalha principalmente na montagem de estruturas de caráter temporário, dentre elas, circos (uma das poucas em atividade neste tipo de estrutura no mundo). Montam também galpões industriais, tendas e coberturas para eventos.

Estrutural Engenharia - Londrina/PR

Empresa de engenharia criada em 1984, que atua em projetos e montagem de diversos tipos de estruturas de concreto armado e protendido, aço, madeira e ainda estruturas tensionadas.

Fiedler Design e Engenharia – São Paulo/SP

Pioneira no mercado brasileiro em coberturas tensionadas, atua desde 1979. Responsável por vários projetos tanto temporários quanto permanentes, dentre eles, as estruturas nos seguintes locais: Morro da Urca, Marina da Glória, Shopping Nova América, Centro de Tradições Nordestinas Luiz Gonzaga, Circo Voador no Rio de Janeiro, além de obras em São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. Os sócios Nelson Fiedler e Sérgio L. Oliveira Almeida possuem vasta experiência na área. Até 2007, Nelson Fiedler já havia realizado, junto com sua equipe, 1.204 obras com estruturas tensionadas, incluindo-se nessa soma obras no Brasil e no exterior (serviços prestados em todo o Brasil e em mercados externos). O nome de Fiedler também está no *Guiness Book* de 2001, por ter construído o maior palco do mundo (Rock in Rio), com 200 toneladas de aço, 11 quilômetros de tecido, 88 metros de diâmetro e 46 metros de altura. Recentemente o profissional está trabalhando em conjunto com SEPA (perfil abaixo).

Formatto Coberturas Especiais - São Carlos/SP

A empresa atua há 10 anos no mercado, inicialmente focada no segmento de armazenagem. Segundo informação extraída do site da empresa, após o aprimoramento da equipe, tornou-se uma empresa especialista em estruturas de membrana (Tensoestruturas) e passou a prestar serviços de projeto, fabricação e instalação de estruturas tensionadas com participação em algumas das mais importantes obras no país, como a Feira da Cidade em Ananindeua e o Mercado Aberto de Goiânia.

Horus Coberturas - Ibaté/SP

A empresa está focada nas estruturas infláveis (com largura de até 30 metros e comprimento até 100 metros) para atendimento de armazenagem industrial, comercial e agrícola. Trabalha com locação e vendas de galpões.

Merlin Estruturas - São Luis/MA

Empresa de pequeno porte que também monta estruturas tensionadas, galpões infláveis e estruturas decorativas e estruturas metálicas. Desenvolve projeto, fabricação e instalação de estruturas através das opções de venda ou locação.

Nautika - Guarulhos/São Paulo

Empresa há 35 anos no mercado com 550 funcionários e duas divisões de negócios: coberturas e lazer. A divisão de coberturas está subdividida em quatro setores: armazéns, climatização, toaletes móveis e evento (estruturas tensionadas, inclusive infláveis).

Pistelli/Pelz - São Paulo, Ibaté/SP e Portugal

Empresa brasileira com atuação internacional e bastante conhecimento no setor. Há mais de 30 anos no mercado com produtos/serviços de engenharia de armazenagem, logística, estocagem e coberturas; trabalha com venda e aluguel de galpões infláveis, galpões estruturados e estruturas tensionadas tanto no Brasil quanto em Portugal. Da mesma forma que as demais, ela opera também com aluguel e venda de estruturas. Ao clicar no termo tensoestrutura no *site* principal, o visitante é direcionado para uma página exclusiva sobre 'arquitetura têxtil' que contém fotos e dados sobre os projetos executados, conceitos, dúvidas e outras informações sobre o tema.

SEPA (Soluções de Engenharia e Projetos das Américas) - São Paulo/SP

Segundo informação disponível no *site* da empresa ela "nasceu para ser a maior empresa de tenso-estruturas do Brasil, mantendo sua liderança como a mais conceituada do setor". Tem como objetivo apresentar soluções econômicas e técnicas para coberturas e estruturas permanentes ou temporárias em "Tensoestrutura". Atua em engenharia de portos (coberturas navais); estruturas tensionadas para servir como alojamentos temporários para funcionários de obras; fábricas e galpões; coberturas de arenas desportivas, estádios, ginásios, autódromos e espaços de entretenimento permanentes ou temporários. Desenvolve ainda projetos especiais, tais como funil para exploração de petróleo, boias para plataformas marítimas, etc. Através de uma *joint venture* com a Hightex International (líder mundial na cobertura de estádios, arenas desportivas e aeroportos) será responsável especificamente pela fabricação e instalação dos

estádios para a Copa de 2014 no Brasil. Conforme já mencionado anteriormente, o engenheiro Nelson Fiedler tem uma parceria com a SEPA.

Solflex Comércio e Instalação de Coberturas - Belo Horizonte/MG

Empresa presente no mercado desde 2000, trabalhando na montagem de coberturas. Opera com policarbonato, alumínio e, segundo informação disponível no *site* da empresa, é pioneira em Belo Horizonte no segmento de estruturas com membranas tensionadas.

SPRECH Indústria - São Gonçalo do Amarante/RN

Projeta, produz e distribui no Brasil coberturas modulares e tensoestruturas em tecido de poliéster/PVC/PVDF e estruturas padrão de aço, alumínio e madeira. Subsidiária da italiana Sprech Srl que também tem uma unidade da Índia.

TecnoStaff Engenharia e Estruturas - São Paulo/SP

Empresa criada em 1987, atua no ramo de estruturas metálicas. Trabalha em projeto, fabricação e montagem de coberturas tensionadas e estruturas metálicas espaciais e cúpulas geodésicas em aço e alumínio. A sócia, engenheira Rita Bose, já ministrou palestras sobre o tema em dezoito capitais brasileiras. Participou de projetos de grande porte no Brasil, tais como a Igreja Batista Central de Fortaleza/CE, a Feira de Ananindeua e o Memorial dos Povos, ambos em Belém/PA; Shopping Vassouras no Rio de Janeiro/RJ, o Mercado de Peixe de Angra dos Reis/RJ, dentre outras.

Tensitex - Belo Horizonte/MG

Empresa especializada em tensoestruturas têxteis. Segundo informação disponível no *site* da empresa, já realizou cinquenta obras no Brasil usando essa solução arquitetônica. Trabalha em projeto, fabricação, instalação e manutenção. Seu diretor e dono da empresa, Dietrich Wischhoff, é engenheiro de produção especializado em estruturas tensionadas com curso de especialização na Alemanha, em estruturas com membrana.

Tensobras - São Paulo/SP

A empresa tem importante atuação na montagem de estruturas com membranas e estruturas metálicas. Seu proprietário, Voldemir Fakri, tem reconhecida competência e vasta experiência no setor com diversas estruturas de membranas tensionadas de caráter permanente no país. Algumas das obras: Teatro de Arena Elis Regina (Americana/SP), Mercado Popular da Rocinha (Rio de Janeiro/RJ), Shopping Praia Mar (Natal/RN). , Shopping de Rua (Cabo Frio/RJ), Praça dos Ingleses (Florianópolis/SC).

Tensor Estruturas Especiais e Tecnologia - Fortaleza/CE

Segundo informações retiradas do *site* da empresa, ela foi criada para o desenvolvimento de projetos de coberturas leves, especialmente as tensoestruturas. Tem sua origem no mercado da construção metálica, onde seus técnicos atuaram por mais de trinta anos. Com participação em diversos projetos de pequeno e grande portes, tais como a Nova Rodoviária de Brasília, o SESC Triunfo (Pernambuco), o Clube Assembleia Paraense, entre outros. Um dos sócios, o engenheiro civil Paulo André Barroso, é mestre em engenharia de tensoestruturas/*Archineer*® (*Anhalt University of Applied Sciences, Dessau, Germany*) e também fundador da divisão da empresa responsável pelos projetos e consultoria em estruturas metálicas.

Tensotech - Salvador/BA

Empresa especializada em estruturas tensionadas para diversos usos, incluindo estruturas em espaços comerciais, espaços turísticos e eventos esportivos. Dentre as obras, destaque para Shopping New York City e Shopping Nova América, ambos no Rio de Janeiro/RJ, Shopping Praia (RN), Shopping Pátio Osasco (SP/SP), Teatro de Arena Elis Regina (Americana/SP), Restaurante Barravento (BA) e outras.

Tópico Coberturas – São Paulo/SP

Empresa há trinta e dois anos no mercado com vasta experiência em locações e vendas de galpões para armazenagem, eventos e grandes obras de construção civil. Principalmente armazéns e galpões infláveis.

4.4 **Exemplos de estruturas tensionadas no Brasil**

No Brasil não existem obras gigantescas e de forte impacto visual, feitas com membranas tensionadas. As obras mais comuns são aquelas de pequeno e médio portes, muitas de caráter temporário. Com relativa facilidade, são vistas tendas, barracas e coberturas nas quais as lonas são esticadas, mas não trabalham tensionadas, como no caso das tensoestruturas. Conforme já explicado em itens anteriores, para as coberturas mais simples são suficientes lonas comuns, sendo que os fabricantes locais de lonas conseguem atender as empresas montadoras com facilidade.

Dentre as obras de médio para grande porte no Brasil destaque para a Igreja Batista Central de Fortaleza/CE (Fig.26), obra que, segundo Pauletti e Brasil (2004), teve início em 2002, a partir do desejo da direção da Igreja de construir uma grande cobertura com membrana, cujo projeto foi proposto pela Nasser-Issa Arquitetos Associados. A membrana tem aproximadamente 2.900m² a área total é de 3.500m², com capacidade para 2.500 pessoas. Até agora foi considerada um recorde nacional de estrutura de bordas flexíveis. Tem 70m de comprimento e 50m de largura. A forma usada conoide duplo assimétrico, com dois mastros de 20m de altura e o material foi o VALMEX FR 1.000 MEHATOP F Tipo III (PES/PVC) do fabricante Mehler (Alemanha), com acabamento em PVDF.

Figura 26 – Igreja Batista Central Fortaleza/CE – Fonte: Acervo da Tecno Staff Estruturas e Engenharia Disponível em http://www.tecnostaff.com.br/fototensiog02.htm. Acesso 13/04/2011

Outra estrutura de grande porte, para os padrões brasileiros, é a Feira de Ananindeua no Pará (Figura 27). Segundo informações extraídas do *site* da empresa TecnoStaff que executou a obra, a estrutura foi montada na cidade Ananindeua, localizada dentro da região da grande Belém. Trata-se de um espaço que abriga um mercado para comércio de frutas, peixes e artigos da região. A área coberta projetada é de, aproximadamente, 3.200 m² e foi concebida com a interligação de elementos basicamente em três formas: cálices, '*umbrelas*' e cones. Sendo 42 cálices com 9,6m de diâmetro, quatro unidades de forma '*umbrela*' com 16m de diâmetro e duas unidades cônicas também com 16m de diâmetro.

Figura 27 – Feira de Ananindeua, Pará – Fonte: Acervo Tecno Staff Estruturas e Engenharia, disponível em http://www.tecnostaff.com.br/ana03.jpg. Acesso 20/11/2011

No caso da estrutura montada no Mercado Ver-o-peso em Belém (PA) (Figura 28) existe um estudo feito pela engenheira Helane B. Fontenele (2006), no qual ela aponta a importância das considerações referentes ao clima do local onde a estrutura será montada. No caso da Região Norte, em particular, a intensa radiação solar, os ventos e as fortes chuvas podem interferir, de maneira significativa, no conforto interno das estruturas. Nesse trabalho, os feirantes foram entrevistados e apontaram os problemas de calor, falhas de ventilação e de iluminação, embora tenham dito que a beleza da feira (após a reforma na qual as estruturas foram montadas) tenha contribuído para o aumento do número de visitantes.

Figura 28 – Mercado Ver-o-peso, Belém/PA – Acesso em 13/4/2011. Disponível em http://www.belemdopara.tur.br/fotos/8-mercado-ver-o-peso/detail/191-3.html#

A seguir, algumas obras permanentes ou temporárias listadas de forma aleatória; de algumas delas foram tiradas fotos para ilustrar este trabalho.

Rio de Janeiro:

Morro da Urca (Figuras 29 e 30); Marina da Glória (Figura 31); Circo Voador; Shopping New York City (Figura 32); Shopping Nova América (Figura 33). Pavilhão São Cristóvão; Marina Velrome (Angra dos Reis); Centro de Tradições Nordestinas Luiz Gonzaga, Piscinão de Ramos; Mercado de Peixe (Angra dos Reis); Mercado popular da Rocinha, Casa Shopping; Golf Clube Gávea, Rock in Rio III, Memorial Zumbi dos Palmares (Volta Redonda), entre outras.

São Paulo:

Golf Alphaville (Barueri); Volkswagem Caraigá (São Paulo); Rodo Shopping Paulínia (Figura 34); Teatro de Arena Elis Regina (Americana) (Figura 36); Shopping Osasco (Figura 40); Clube Hebraica; Biblioteca de São Paulo, no Parque da Juventude (São Paulo) (Figura 37); Palco Mauá; Parque Salvador Arena (S. B. do Campo) (Figura 38 e 39); Parque de Ciência e Tecnologia da USP (CienTec) (São Paulo) (Figura 41); Museu Catavento; Unicamp (Campinas); Parque Aquático Municipal da Criança (Presidente Prudente); Restaurante da Câmara dos Vereadores (São Paulo); Amcham/Câmara Americana do Comércio (São Paulo); Fórmula 1 Interlagos.

Mais alguns exemplos em outros estados: Teatro Castro Alves (Salvador/BA); Shopping Fashion Mall (MG); Shopping Portal (MG); Tenda Mall (Divinópolis/MG); Shopping Spazzio Design (Juiz de Fora/MG); Teatro de Arena Algar Uberlândia (Uberlândia/MG); Memorial dos Povos (Belém/PA); Via dos Mercadores (Belém/PA); Wobben Windpower (Parazinho/RN); Museu da Amazônia (Manaus/AM); Arena Domingos Leal (São Luis/MA); Aeroporto de Guararapes (Recife/PE); Teatro Araújo Viana; Praça dos Ingleses (Florianópolis/SC); Universidade de Caxias do Sul (Caxias do Sul/RS); Nova Rodoviária de Brasília/DF; Sesc Triunfo (PE); Beach Park Resort (Fortaleza/CE); Clube Assembleia Paraense (Belém/PA).

A seguir fotos de alguns dos exemplos mencionados nos parágrafos anteriores:

Figuras 29 e 30 – Morro da Urca, Rio de Janeiro/RJ.

Figura 31 – Marina da Glória – Rio de Janeiro/RJ

Figura 32 – New York Shopping, Rio de Janeiro **Figura 33** – Shopping Nova América – RJ

Figura 34 - Rodo Shopping Paulínia (Paulínia/SP) **Figura 35** – Paulínia/SP

Figura 36-Teatro Arena Elis Regina (Americana/SP) **Figura 37** – Biblioteca Pq.da Juventude (SP)

Figuras 38 e 39 - Parque Salvador Arena, São Bernardo do Campo/SP.

Figura 40 – Shopping Pátio Osasco/SP

Figura 41 – Parque CienTec da USP/SP

O problema das patologias não é o foco deste trabalho, entretanto ele pôde ser notado durante a visita a algumas das estruturas aqui mencionadas. Eram patologias decorrentes de falhas de projeto e/ou falhas no processo de manutenção das obras. Tais 'defeitos' acabam por interferir na aparência e na funcionalidade da cobertura e prejudicam a imagem da arquitetura têxtil de maneira geral, pois são 'exemplos negativos'. Além do caso mencionado na página 104, da estrutura montada no Mercado Ver-o-Peso de Belém, outras obras que apresentam problemas foram: as estruturas de Paulínia e do Teatro de Arena

Elis Regina, que estavam muito sujos quando visitadas em outubro de 2011. O problema mais comum é a sujeira.

Outra patologia frequente são manchas de mofo; no Shopping Nova América e no Morro da Urca eram visíveis diversas manchas na cobertura, por ocasião da visita em julho 2011. Alguns problemas de rugas foram observados na estrutura da biblioteca de São Paulo localizada no Parque da Juventude (no terreno onde existia o complexo penitenciário Carandirú, em São Paulo, Capital),

Vários fatores podem contribuir para a ocorrência de problemas; dentre eles a escolha inadequada do tipo de membrana, principalmente no caso de estruturas permanentes. Outros fatores que igualmente podem impactar no curto, médio ou longo prazos são: ineficiência do sistema de ventilação e entrada de ar, opção por folhas simples ao invés de folhas duplas (duas camadas de membranas), falhas no sistema de pré-tensão, escolha inadequada do material dos cabos, engates e sistema de ancoragem, altura e posicionamento da estrutura, apenas para mencionar alguns. Por isso, desde a fase do projeto, passando por montagem e manutenção, é necessário prestar muita atenção aos detalhes e deve haver um rigoroso critério de escolha dos materiais. O impacto negativo pode ser tanto visual (sujeira, rugas, rasgos, manchas, ferrugem das partes metálicas, etc.), quanto de conforto (calor, frio, abafamento, não proteção contra chuva, etc.), ambos prejudiciais e comprometedores.

A análise das patologias e da durabilidade das estruturas tensionadas talvez seja um dos aspectos menos atrativos deste modelo de cobertura de espaços. São riscos, de certa forma, inerentes às estruturas devido à sua própria leveza e à fragilidade dos materiais têxteis (se comparado à alvenaria) com os quais são feitas. Se forem temporárias, a mobilidade (montagem, desmontagem e transporte), pode de igual modo, danificar os elementos e acabar prejudicando o conjunto (CARRIÓ, 2011).

5 METODOLOGIA DA PESQUISA

O método adotado para a elaboração deste trabalho está apoiado em dois eixos de atuação: **o primeiro eixo** engloba o desenvolvimento do raciocínio demonstrativo, e teve como base, uma pesquisa bibliográfica. A pesquisa bibliográfica, da mesma forma como sugerido por Severino (2010), foi realizada a partir de registros disponíveis, decorrentes de buscas anteriores, em documentos impressos, tais como livros, artigos, dissertações e teses. Foram encontrados livros sobre o assunto, a maior parte deles publicados fora do Brasil, e também matérias em revistas e trabalhos científicos escritos por autores estrangeiros. De igual maneira, foram consultados artigos acadêmicos publicados por brasileiros (em geral arquitetos e engenheiros civis) bem como informações publicadas por organizações de classe, boletins, catálogos institucionais e revistas especializadas.

Notou-se a pouca disponibilidade de material em língua portuguesa, principalmente de livros. Por isso em diversas citações, foi necessário o uso das outras fontes de informação acima citadas, em especial revistas e *sites* na *internet,* para obtenção de informações atuais sobre o tema, e assim fazer-se um razoável levantamento do cenário a ser estudado, sobretudo devido ao enfoque mercadológico deste trabalho.

O segundo eixo foi uma pesquisa de campo, feita através do contato com profissionais que atuam neste segmento no Brasil, tanto em empresas que fabricam membranas quanto em empresas que montam as estruturas.

A partir do processo de leitura do material coletado, após triagem inicial, foi possível constatar que, de maneira geral, existiam muitos autores, fora do Brasil, que valorizam o tipo de estrutura, enaltecendo os pontos positivos, principalmente a beleza, além da funcionalidade e praticidade. Mesmo assim, com certa frequência, apontavam a falta de conhecimento e de informações sobre o assunto e ainda, a falta de profissionais capacitados para atuarem no setor. Existem vários exemplos de pequenas, médias e grandes estruturas em diversos países e muitas empresas montadoras e menos de uma dezena de empresas fornecedoras. Mas, boa parte das empresas fornecedoras de membranas possuem modernas

tecnologias e contínuos processos de desenvolvimento de novos materiais nessa área, demonstrando ser um segmento em evolução.

Com base na análise preliminar, foi possível captar a problemática do tema, aflorando alguns questionamentos; dentre eles: os profissionais que atuam no Brasil possuem a mesma visão? Quais são os pontos fortes deste tipo de estrutura? Trata-se de uma solução bem difundida? Quais as dificuldades e perspectivas? Quem são os principais *players* no Brasil? Quais tipos de membranas são usados e produzidos localmente? É um mercado interessante, promissor?

Foram elaborados dois questionários: um (Anexo I) para ser respondido por profissionais que atuam na área, ou seja, engenheiros, arquitetos e projetistas que trabalham em projetos desse tipo de estrutura como prestadores de serviço ou como funcionários das empresas que oferecem esta solução arquitetônica no mercado brasileiro e outro (Anexo II) para ser respondido por empresas fornecedoras de membranas específicas para estruturas tensionadas.

Para facilitar o desenvolvimento do raciocínio e a contextualização do tema foi apresentado um histórico da arquitetura têxtil além de explicações sobre o emprego do termo e conceitos. Por entender-se que este assunto poderá ser mais apropriadamente desenvolvido por arquitetos e engenheiros civis, não foi enfatizada a parte técnica de obtenção de formas, cálculos, detalhes e elementos para montagem das estruturas tensionadas. Conforme já mencionado anteriormente, o foco aqui é apresentar uma visão geral da parte têxtil envolvida nesse tipo de estrutura e uma pesquisa de caráter mercadológico, sem envolver ensaios de laboratório.

6 RESULTADOS DA PESQUISA

Conforme já mencionado acima, além das empresas montadoras, foi feito um contato com quatro dos seis fornecedores que atuam localmente, sendo que três deles responderam o questionário (Anexo II). O questionário seguindo a recomendação de Severino (2005) teve como principal objetivo "levantar informações dos sujeitos pesquisados, com vistas a conhecer a opinião dos mesmos sobre o assunto em estudo". O questionário foi de múltipla escolha, e o entrevistado pôde escolher mais de uma alternativa como resposta. Em todas as questões houve a possibilidade da escolha da opção 'outro (especifique)', mas nenhum entrevistado assinalou esta opção de resposta.

Tanto no caso das montadoras, quanto no caso dos fornecedores foi feito um 'acordo de cavalheiros' para que as respostas obtidas fossem usadas somente em conjunto, sem a identificação individual de cada entrevistado e/ou empresa contatada. Analisando-se primeiramente as respostas dos **fornecedores,** tem-se:

- As três empresas fornecedoras vendem membranas de PES/PVC/PVDF.
- As duas principais dificuldades selecionadas foram:
    - **Barreira cultural** (preferência por obras convencionais),
    - **Poucos profissionais com conhecimento especializado**.
- O principal ponto forte desse tipo de estrutura foi o atributo **estética/beleza.** Os atributos **agilidade** (rapidez de montagem) e **modernidade** também foram escolhidos por um fornecedor cada (além da beleza); a opção **custo competitivo** não foi escolhida por nenhum entrevistado.
- Todos escolheram a resposta '**tecnologia de produção**' como sendo sua principal vantagem competitiva no segmento. De igual modo foram escolhidos '**Qualidade superior**' (dois entrevistados) e '**preço competitivo**' (um entrevistado). As opções 'líder de mercado', 'gama de produtos' e *know-how* específico não foram selecionadas.
- A expectativa para os próximos três anos é de '**crescimento do mercado**'. Não foram selecionadas por nenhum deles as opções de 'mercado em queda' e 'mercado estável'.

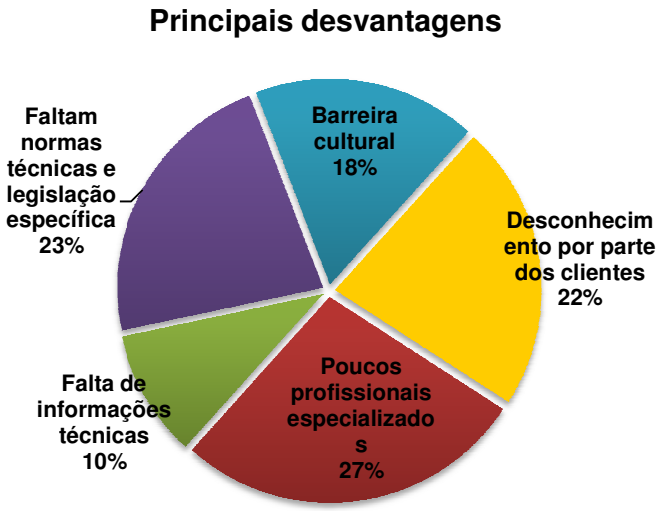
- A Copa e os Jogos Olímpicos provocarão um '**impacto positivo**' neste segmento segundo, os fabricantes de membranas.

Encontram-se a seguir o resumo e a análise dos questionários respondidos pelos profissionais que trabalham para alguma das dezoito **montadoras de estruturas tensionadas** no Brasil:

- Engenheiros, arquitetos e outros cinco profissionais (técnico, projetistas, comercial) responderam ao questionário, totalizando **doze** entrevistados.
- O **termo 'Arquitetura Têxtil'** foi definido da seguinte forma:
    - Para quatro dos entrevistados o termo significa: "Apenas as estruturas tensionadas feitas com membranas (PES/PVC, Vidro/PTFE, etc.)".
    - Para seis deles (50%) o termo significa: "Estruturas tensionadas, tendas e coberturas em geral, também feitas com membranas e lonas".
    - E dois profissionais escreveram sua própria definição para o termo:
        - "Se falarmos genericamente: Arquitetura Têxtil define qualquer ação projetual de valor arquitetônico-construtivo cujo material estrutural principal é um tecido".
        - "Estruturas tensionadas, tendas, coberturas em geral que utilizem tecidos técnicos como membranas (PVC, PTFE, etc.) filmes ou películas PTFE e outros".
    - Um dos entrevistados, embora tenha escolhido a segunda alternativa para definição no termo arquitetura têxtil, acrescentou um comentário no final do questionário:
        - 'Para a nossa empresa a Arquitetura Têxtil corresponde às estruturas de membrana em geral, sejam tensionadas ou estruturas pneumáticas e coberturas com lona apenas para vedação, em obras temporárias e permanentes'.
- Os projetos de 100% dos entrevistados envolvem **estruturas tensionadas de caráter permanente** e para 42% deles também **tendas para eventos temporários** além das estruturas permanentes.
- Segundo estes profissionais entrevistados, que trabalham na montagem de estruturas tensionadas no Brasil, os principais clientes para a solução arquitetônica são:

- As **qualidades** percebidas nesse tipo de estrutura são:

- As principais **desvantagens** desse tipo de estrutura apontadas foram:

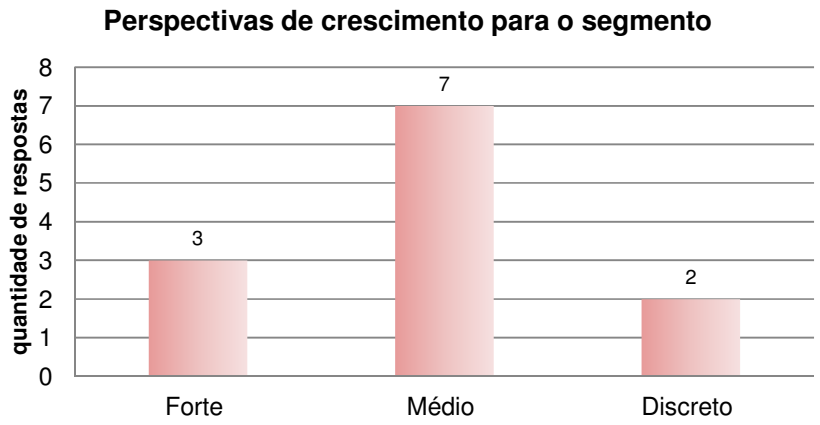


- Quanto ao **tipo de membrana**, 75% utilizam membranas importadas e nacionais em seus projetos, e 17% assinalaram as membranas de vidro/PTFE.
- O **critério para escolha** da membrana leva em consideração o seguinte:

Critério para escolha da membrana

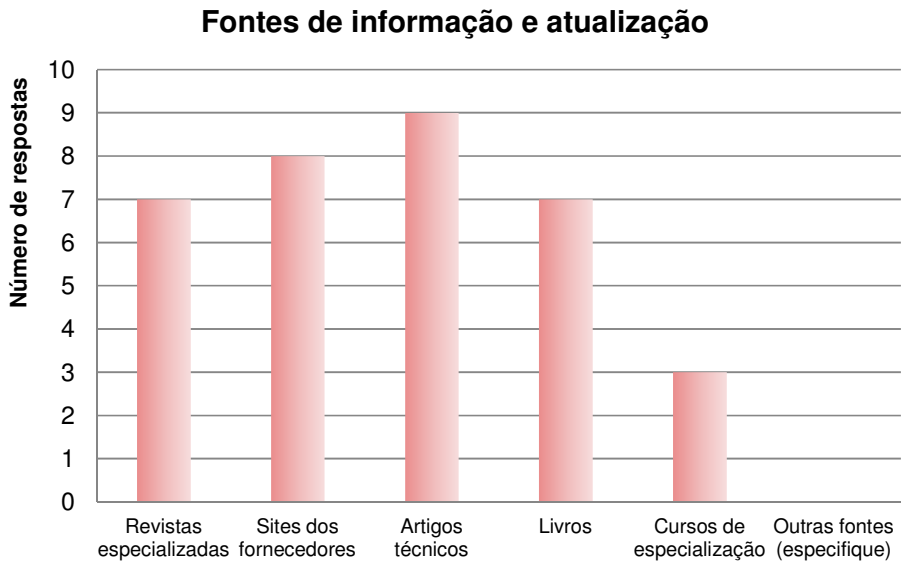
- Com relação ao relacionamento dos profissionais com os **fornecedores** de membranas, a pergunta solicitava que fossem indicados na lista de empresas fornecedoras quais delas o entrevistado ‘conhece’, ‘já trabalhou’ ou ‘trabalha regularmente’. Lembrando-se que era possível a múltipla escolha, obteve-se o seguinte resultado para a alternativa ‘trabalha regularmente’:
    - 45% (5 pessoas) Serge Ferrari;
    - 45% (5 pessoas) Sansuy
    - 27% (3 pessoas) Mehler
    - 18% (2 pessoas) Ledervin
    - 18% (2 pessoas) Verseidag
    - Ninguém assinalou a Naizil, Saint Gobain ou outro fornecedor com o qual trabalhe regularmente.
- Para a alternativa ‘já trabalhou’ as respostas foram:
    - 55% Sansuy;
    - 27% Serge Ferrari;
    - 27% Melher;
    - 18% Naizil;
    - 9% Ledervin
    - 9% Verseidag

- Na percepção dos entrevistados as **perspectivas** são de médio crescimento para o segmento nos próximos anos. As alternativas: **estagnação**, **decadência** ou outra opção, não foram selecionadas.



- A resposta para a questão que indagava se a **Arquitetura Têxtil é conhecida e bem difundida** no Brasil, nenhum entrevistado respondeu 'sim'; oito deles (67%) selecionaram a alternativa 'não' e quatro deles (33%) que 'depende da região'. Um dos entrevistados fez um comentário interessante sobre o tópico:
    - A utilização de membrana para cobertura no Brasil tem potencial. Existe um preconceito com relação à robustez e falta de confiabilidade em coberturas com lonas (remete a uma solução paliativa)... A falta de conhecimento técnico e de profissionais inviabiliza projetos. Além do alto custo, muitas vezes superior às soluções em alvenaria.

- Com relação à questão sobre **normas de qualidade**, a maior parte dos entrevistados assinalou mais de uma alternativa, escolhendo como resposta as normas internacionais ISO, DIN e ASTM. Três entrevistados assinalaram a alternativa 'outra', anotando as respostas: 'normas internacionais' ou 'nenhuma norma de qualidade'. Dentre as respostas, dois dos entrevistados responderam ABNT, porém, de acordo com a pesquisa e algumas conversas pessoais não existem normas brasileiras específicas para este tipo de produto. Existem normas ABNT para os filamentos e tecidos, mas não para as membranas. Um dos entrevistados fez um comentário neste sentido, escrevendo que, para as estruturas tensionadas terem melhor receptividade e credibilidade no mercado, são necessárias Normas e Legislação adequadas a esse tipo de construção. Ele questiona: 'Como podemos oferecer uma construção têxtil ao cliente sendo que o próprio Arquiteto dele diz que ele terá problemas com regularização da obra? Devemos trabalhar nesse sentido'.
- Na pergunta referente às **fontes utilizadas para informação e atualização** no tema a maioria assinalou a opção 'artigos técnicos'.



- No final das perguntas da pesquisa foi deixado um espaço para que o entrevistado escrevesse um comentário ou observação. Poucos o fizeram. A engenheira Rita Bose escreveu o seguinte comentário:

- O uso de estruturas tensionadas tem, cada vez mais, despertado interesse nos profissionais brasileiros. Fiz palestras sobre o tema em 18 capitais e vi o desconhecimento e avidez pela tecnologia. Observo que os jovens estão sempre mais abertos para o novo. Ao contrário dos conceituados arquitetos (com exceções, claro) que resistem um pouco a esse sistema. Importante mencionar o tema sustentabilidade: as membranas em PVC são recicláveis e permitem economia de energia (pela translucidez). Importante também mencionar a necessidade do conhecimento em modelar, projetar, calcular, fabricar e montar. Pois obras com sérios defeitos por desconhecimento denigrem a imagem da tecnologia. Importante também comparar vantagens e desvantagens em relação a outros sistemas de cobertura e onde e porque usá-la.

7 CONCLUSÕES

Quando se estuda estruturas com membranas, verifica-se que diversas áreas do conhecimento técnico estão envolvidas e compartilhadas entre si. Então, além do processo de projeto, dos métodos de análise estrutural e do sistema construtivo da própria estrutura, diferentes tecnologias são empregadas na produção de membranas e de outros componentes desse sistema arquitetônico. Fica evidente tratar-se de áreas de conhecimento que se entrelaçam e se complementam de forma criativa e fascinante. Áreas de arquitetura, mecânica, química, têxtil, matemática, computação, só para citar algumas, caracterizando multi e interdisciplinaridade.

O presente trabalho teve como objetivo apresentar uma visão geral deste segmento no Brasil, com foco no aspecto mercadológico, expondo de forma resumida opiniões de alguns dos profissionais envolvidos com o desenvolvimento de projetos e de montagem de coberturas tensionadas. Expos ainda detalhes sobre os principais materiais usados, em particular as membranas de poliéster PVC com ênfase especial para a parte têxtil.

As principais conclusões foram:

No exterior, existe maior utilização de estruturas tensionadas em geral, maior geração e divulgação do conhecimento relativo a esses tipos de estruturas e expectativa de desenvolvimento de novas tecnologias e novos produtos; ou seja, esta solução arquitetônica está em contínua evolução. No Brasil, a expectativa é de que o setor cresça num futuro próximo e, aparentemente, a concorrência entre os fabricantes deva continuar acirrada. Atualmente são duas empresas com produção local, e três (às vezes quatro ou até cinco) com produtos importados atuando no mercado brasileiro.

No Brasil, a solução arquitetônica já é utilizada; mas, na maior parte dos casos, de forma tímida e, às vezes, com algumas falhas de projeto, execução e/ou manutenção, ocasionando maus exemplos. Os próprios engenheiros, arquitetos e projetistas que aqui trabalham apontaram como sendo as principais desvantagens

desse tipo de cobertura a falta de normas técnicas e legislação específica e também a falta de conhecimento.

Por outro lado, os principais motivos de escolha apontados são: a possibilidade de se criar formas leves, fluidas e esteticamente bonitas, e de se gerar espaços interessantes e atraentes para uso público. A beleza das formas, enfatizada e citada por estudiosos e profissionais espalhados por diversos países, também é lembrada pelos profissionais que atuam no Brasil. Na pesquisa realizada junto a alguns profissionais, o termo 'modernidade' é também apontado como um atributo positivo além da 'beleza'. Do mesmo modo, aqui no Brasil, a sensação de 'leveza e fluidez' é apontada como importante vantagem da arquitetura têxtil.

Outra vantagem é a 'translucidez' que possibilita o uso de luz natural sem a passagem dos raios ultravioletas. Ela pode proporcionar uma luminosidade suficiente para iluminar todo o ambiente, durante o dia, sem o uso de luz artificial, gerando significativa economia de energia elétrica. A economia de tempo na montagem e economia no transporte do material (material mais leve), de igual maneira são características positivas mencionadas por alguns profissionais estrangeiros, porém elas não foram citadas nas entrevistas, talvez por distração, mas, provavelmente são relevantes. Além das vantagens acima citadas, o fato de a membrana de poliéster/PVC ser reciclável tem atraído a atenção para este tipo de cobertura, principalmente na Europa onde a conscientização e o processo de reciclagem estão mais adiantados. Um dos fabricantes entrevistados mencionou que aqui será possível implantar o processo de reciclagem do composto PES/PVC.

As estruturas tensionadas são apontadas como uma excelente alternativa para cobertura de grandes espaços, o que não ocorre no Brasil, pois uma das maiores estruturas permanentes aqui montada tem cerca de 3.200m², enquanto que o aeroporto de Denver (Colorado/USA), por exemplo, tem 35.000m² e o de Jeddah (Arábia Saudita) tem 440.000 m². Alguns autores explicam que esta é uma solução cara para coberturas de pequenos espaços.

Os tipos de estruturas mais comum no Brasil são as tensionadas de pequeno porte e as estruturas temporárias em forma de tendas, armazéns e galpões industriais (nas quais as lonas ficam esticadas). Muitos dos armazéns são

estruturas com formas sinclásticas (estruturas infláveis). São bastante usadas e, aparentemente, têm bom potencial de mercado, uma vez que várias empresas montadoras oferecem esta solução. Entretanto seria necessário um estudo específico para o levantamento mais aprofundado de informações sobre o assunto.

Os fabricantes locais conhecem bem as necessidades da aplicação, possuem total ou parcialmente a tecnologia de fabricação das membranas; eles estão a par das limitações e requerimentos no uso, além saberem das dificuldades de se trabalhar nesse mercado pela necessidade de especialização técnica. Aqui no Brasil possibilidade de se ampliar a gama de produtos não parece ser uma preocupação no curto prazo, mas sim a manutenção e/ou conquista de clientes. As empresas estrangeiras, por sua vez, possuem melhores ferramentas de apoio a vendas (catálogos, material técnico, etc.), experiência internacional, tradição no segmento. Todavia podem, eventualmente, sofrer com certa falta de agilidade devido ao processo de importação. Nos dois casos ocorre a convivência com a falta de conhecimento, a disputa por clientes (menos que vinte empresas montadoras). Comenta-se que, com certa frequência, vários clientes demonstram uma maior preocupação com o custo do que com a qualidade do produto ou adequação do produto.

É de fundamental importância para o sucesso do projeto a perfeita relação entre forma, funcionalidade e adequação ao contexto do ambiente para o qual está prevista a estrutura a ser montada. Em países como o Brasil, onde as regiões podem ter climas muito variados e diferentes ao longo do ano, o estudo de viabilidade é de vital importância. A adequada escolha de materiais, o conhecimento das limitações e especificações técnicas dos produtos disponíveis para o sistema estrutural, merecem atenção e um olhar cuidadoso em todas as fases do projeto. Cuidados na montagem, no uso e na manutenção podem fazer toda diferença entre o sucesso e o fracasso de uma cobertura com um artigo têxtil com características especiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADANUR, Sabit – *Handbook of weaving*. Technomic Publishing Company, Alabama, EUA, 2001.

ALFIERI, Paulo – As fibras sintéticas – Apostila. São Paulo, setembro, 1999.

ALVIM, Rosana A.A. Avaliação Experimental de propriedades mecânicas dos tecidos estruturais. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

ANSELL, M.P *et al*. Architectural PTFE-coated glass fabrics – their structure and limitations. *Textile Research Journal*, n.53, p.692-700, 1983.

ARAÚJO, Mário de; FANGUEIRO, Raúl e HONG, Hu. Têxteis Técnicos – Materiais do Novo Milênio. Williams, Ltda. Braga, Portugal, 2000.

ARMIJOS, Samuel. Fabric Architecture: Creative Resources for Shade, Signage and Shelter. WW Norton & Company. China, 2008.

BAHAMÓN, Alejandro. Arquitetura Efêmera. Felisa Minguet. Lisboa, 2004.

BARNES, Mike *et al*. Arquitectura Textil- *Guía Europea de Diseño de las Estructuras Superficiales Tensadas* – TensiNet (Colección Arquitectura y Tecnología). Munilla-Lería. Cap.8, p.173-182, Madri, 2009.

BENVENGO, Luciana. Tecido Arquitetônico. *Revista aU/Arquitetura e Urbanismo*. Edição 90, junho 2000.

BERGER, Horst. *Light Structures - Structures of light - The Art and Engineering of Tensile Architecture*. AuthorHouse, Bloomington, Indiana, EUA, 2005.

BLUM, Rainer; BÖGNER, Heidrun; NÉMOZ, Guy. Arquitectura Textil- *Guía Europea de Diseño de las Estructuras Superficiales Tensadas* – TensiNet (Colección Arquitectura y Tecnología). Munilla-Lería. Cap.9, p.185-200, Madri, 2009.

BOSE, Rita. *In*: Por uma membrana – Revista *TÉCHNE*, N.169, abril 2011.

BRADATSCH *et al*. Arquitectura Textil – *Guía Europea de Diseño de las Estructuras Superficiales Tensadas.* – Tensinet (Colección Arquitectura y Tecnologia) Munilla-Lería. Cap.3, p.43-86, Madri, 2009.

BROWNELL, Blaine. Driving the future of fabric structures. Revista *Specialty Fabrics Review*, Roseville, MN, EUA. Junho 2011.

BUBNER, Ewald. *Membrane Construction*.Druckerei Wehlmann, Essen, Germany, 2005.

CALLISTER, W.D - *Ciência e Engenharia de Materiais, uma introdução* – São Paulo: Editora LTC, 2008.

CARRIÓ, Juan Monjo. *Introducción a la Arquitectura Textil* – Cubiertas Colgadas. COAM (Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid). Madri, 1991.

CARRIÓ, Juan Monjo. In: *Tensoestruturas – Tensile Structures.* Roberto SANTOMAURO. Eduardo Folle-Chavannes, Uruguai, 2008.

CARRIÓ, Juan Monjo. In: Arquitectura Textil - *Guía Europea de Diseño de las Estructuras Superficiales Tensadas* – TensiNet (Colección Arquitectura y Tecnología).Munilla-Lería. p.17-22, p. 89-94. Madri, 2009.

CARRIÓ, Juan Monjo. In: Arquitetura Textil – *Diseño y Construcción de Cubiertas Tensadas.* Structuralia, TensiNet, Serge Ferrari e Departamento de Construcción e Tecnologia Arquitectónicas (Escuela Técnica Superior de Arquitectura da Universidad Politécnica de Madrid). 2011.

CHILTON, John et al. In: Arquitectura Textil - *Guía Europea de Diseño de las Estructuras Superficiales Tensadas* – TensiNet (Colección Arquitectura y Tecnología).Munilla-Lería. p.17-22, p. 89-94. Madri, 2009.

CHIVANTE, Mauricio R.P. *Avaliação Experimental das relações tensão-deformação de um tecido de fibra de vidro recoberto com PTFE*. Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (para obtenção de título em Mestre em Engenharia Civil), São Paulo, 2009.

DE STEFANO, Jim (PE). Horst Berger. Great Achievements. *In*: *STRUCTURE magazine*. Novembro 2007.

DREW, Philip. *Frei Otto: Form and Structure*. Granada Publishing Limited. Stuttgart, West Germany. 1976.

DREW, Philip.*Tensile Architecture*. Granada Publishing Limited. Great Britain. 1979.

ESCRIG, F. e SANCHES, J. - Revista *Star Structural Architecture – Estructuras en tracción* I e II-N. 5 – Primeira edição 2002 e quarta edição 2005; N.6 p.79.

ELIAS, Bruno Scalise. Membranas Tensionadas: permanentes ou efêmeras? Revista *Assentamentos Urbanos.* Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Marília (UNIMAR), V4, n. 1, p 59-71, Marília, SP, Brasil, 2002.

FABRIC ARCHITECTURE Magazine – Fabric structures – Sourcebook, 2009.

FALKAI, Béla Von – Synthesafasern: Grundlagen, Tecnologie, Verarbeitung und Anwendung. Velarg Chemie. Weinheim, Germany, 1981 apud ALFIERI, 1999.

FIGUEROLA, Valentina – Alta Costura - Revista *aU/Arquitetura e Urbanismo* – Ed.121 – Abril 2004.

FONTENELE, Helane B. – *Uso e adequação climática de tensoestruturas à Região Amazônica – Estudo de caso: Feira Ver-o-Peso em Belém/PA*. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará, 2006.

FORESTI, Pamela. Percorsi evolutivi - Tensostrutture nel settore edilizio - Palazzo dei Soviet. *In*: Membrane e scocche per l'architettura difusa – *Politecnico di Milano, 2005*. Acesso em 17/10/2011. http://www.architetturatessile.polimi.it/membrane_scocche/percorsi/5_1920_1940/3edilizio_tens/1932_palazzo_soviet/1932_palazzo_soviet.html.

FORSTER, Brian e MOLLAERT, Marijke. Tecnología de la arquitectura textil. In: Arquitectura Textil - *Guía Europea de Diseño de las Estructuras Superficiales Tensadas* – TensiNet (Colección Arquitectura y Tecnología) – Munilla-Lería. Cap.2, p. 25-40. Madri, Espanha, 2009.

FORSTER, Brian e MOLLAERT,Marijke."*Progettare con le membrane*"-TensiNet Edição italiana de A. Zanelli, Maggioli Editore,Milão, 2007.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P. e NOBREGA, R. *Processos de separação com membranas*. E-papers: Rio de Janeiro, 2006.

HOELPI. *Manuale di Progettazione edilizia.* (AAVV *Vari Autori*). V.5 Materiali e Prodotti. Ed. Hoelpi, Milão, 1999.

HENNICHE, J. Visions, Ideas, Projects. Un homage a Frei Otto. *In*: *Textiles Roofs 2010* - 15° International Workshop on Design and Practical Realization of Architectural Membranes – 3 a 5 June, Berlin, Germany, 2010.

ICON GROUP (Paper) -The 2009-2014 World Outlook for Finished Polyester Broadwoven Fabrics Made from at Least 85-Percent Filament Yarn Finished in Weaving - Asia Books, Set, 2008.

JODIDIO, Philip – Shigeru Ban – Complete Works 1985-2010. Taschen. Colônia, Alemanha, 2010.

JOTA, F.O. e PORTO, C.E. Evolução das Estruturas de Membrana – Periódico eletrônico de Arquitetura e Urbanismo - Revista P@ranoá, vol.6, 2004.

KAWAGUCHI, Mamoru. *In: Light Structures – Structures of Light* by Horst Berger, AuthorHouse – 2005.

LE CLERC, Chistophe. *Mecanismes microstructuraux impliqués dans la fatigue des fibres thermoplastiques*. L'École de Mines de Paris, 2006 (tese de doutorado).

LLORENS, J. Arquitectura Textil - *Guía Europea de Diseño de las Estructuras Superficiales Tensadas* – TensiNet (Colección Arquitectura y Tecnología) .Munilla-Lería. Cap. XI. P.225-231. Madrid, 2009.

LLORENS, J. - Arquitetura Textil – *Diseño y Construcción de Cubiertas Tensadas – Ambiente interior. Comportamiento frente al fuego. Características medioambientales*. Structuralia, TensiNet, Serge Ferrari e Departamento de Construcción e Tecnologia Arquitectónicas (Escuela Técnica Superior de Arquitectura da Universidad Politécnica de Madrid), 2011.

MALUF, Eraldo, KOLBE, Wolfgang. *Dados Técnicos para a indústria têxtil-* 2ª Ed. Ver. ampl. – São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção, 2003.

MANCINELLI – AGY's Beta™ Yarn Provides Strength and Flexibility for Structural Membrane Canopy Over Entryway to Shanghai World Expo Center – *AGY News*, Aiken, USA, July 2010.

MAZZOLA, Cristina. Membrane-Multicomponente - Tessuti spalmati – Poliestere/PVC et Vidro/PTFE. *In*: Membrane e scocche per l'architettura difusa – Politecnico di Milano, 2005. Acesso em 13/10/2011. Disponível em: http://www.architetturatessile.polimi.it/membrane_scocche/prod_prodotti_mem.html

MCCARTY, Cara. *In*: *Extreme Textiles, Designing for High Performance* – Mc Quaid, Matilda. Princeton Architectural Press. Nova York, 2005.

MC QUAID, Matilda. *Extreme Textiles, Designing for High Performance*. Princeton Architectural Press. Nova York, 2005.

MENDONÇA, Paulo. *Habitar sob uma segunda pele: Estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados.* Tese de doutorado. Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2005.

NUNES, L. R., RODOLFO Jr., A., ORMANJI, W. - *Tecnologia do PVC* - 2ª Ed. revista e ampliada. Pro Editores /Braskem: São Paulo, 2006.

OBATA, Sasquia Hizuru. *Condicionantes Projetuais e Tecnológicos: Arquiteturas Têxteis e Tensoestruturas Complexas*. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2010. Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, Maria Betânia e BARBATO, Roberto L. A. - Estudo das Estruturas de Membrana: uma abordagem integrada do sistema construtivo, do processo de projetar e dos métodos de análise. *Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos*, V.7, N.22 p 107-122, 2005.

OTTO, Frei e SONGEL Juan María. *Frei Otto, conversación con Juan Maria Songel*. Editorial Gustavo Gilli: Barcelona, 2008.

PAULETTI, R.M.O. Anotaciones sobre el proyecto y el análisis de las estructuras tensadas. *Revista de Arquitetura Entre Rayas*, N° 88, p. 30-41. Venezuela, abril, 2011.

PAULETTI, R.M.O. *História, Análise e Projeto das Estruturas Retesadas*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003. Tese de Livre Docência. Disponível em http://www.lmc.ep.usp.br/people/pauletti/Publicacoes.html Acesso em 7/4/2011.

PAULETTI, R.M.O, BRASIL, R.M.L.R.F. e ALVIM R.A.A. *A large membrane roof for the Baptist Church of Fortaleza: from models to realization*. International Association for Shell and Spatial Structures. Montpellier- France. Set. 20 – 24, 2004. Disponível em http://www.lmc.ep.usp.br/people/pauletti/Publicacoes.html Acesso em 7/4/2011.

PLANTAMURA, Francesca. Fileira delle lavorazione per membrane. In: Membrane e scocche per l'architettura diffusa . Politecnico di Milano. 2005. Acesso em 14/10/2011. Disponível http://www.architetturatessile.polimi.it/membrane_scocche/prod_lavorazioni_m.html.

PARRA, Javier Tejera. Arquitetura Textil – *Diseño y Construcción de Cubiertas Tensadas.* Structuralia, TensiNet, Serge Ferrari e Departamento de Construcción e Tecnologia Arquitectónicas (Escuela Técnica Superior de Arquitectura da Universidad Politécnica de Madrid). 2011.

REVISTA *aU/Arquitetura e Urbanismo* – Tecido Arquitetônico – Ed.90. julho 2000.

REVISTA *aU/Arquitetura e Urbanismo* – Uma arquitetura para a paz – Valentina Figuerola – Ed.102 – junho 2002.

REVISTA *Special Fabrics Review* – IFAI publication – Feb. 2011

REVISTA *Star Structural Architecture* – Estructuras en tracción I e II. ESCRIG, F (N. 5 – quarta edição 2005; N.6 – primeira edição 2002).

REVISTA *TÉCHNE* – N.35 - Alivie a tensão – julho 1998.

REVISTA *FINESTRA* – Estrutura Tensionada para grandes vãos – outubro 2010.

ROCHA, Ana Paula. Por uma membrana - *Revista TÉCHNE* – N.169, abril 2011.

SANTOMAURO, Roberto. *Tensoestruturas – desde Uruguay*. Eduardo Folle-Chavannes. Montevideo, Uruguai, 2008.

SASTRE, Ramón. In: Arquitetura Textil – *Diseño y Construcción de Cubiertas Tensadas.* Structuralia, Tensinet, Serge Ferrari e Departamento de Construcción e Tecnologia Arquitectónicas (Escuela Técnica Superior de Arquitectura da Universidad Politécnica de Madrid), Modulo 6, 2011

SEAMAN, Richard N. e BRADENBURG, Frank. Utilization of vinyl-coated polyester fabrics for architecture applications – Parte 1 e parte 2. Revista *Fabric Architecture*, julho 2000.

SCHEIRS, John - *Modern Fluoropolymers: High Performance Polymers for Diverse Applications*. Australia: Wiley Series in Polymer Science, 1997

SCHWEITZER, Philip A. *Mechanical and Corrosion - Resistent Properties of Plastics and Elastomers.* Marcel Dekker. Nova York, 2000.

SEVERINO, Antonio J. *Metodologia do trabalho científico*, 23° ed. Cortez. São Paulo, 2007.

SZOSTKIEWICZ- Chatain, HAMELIN, P.e C. – *Materials and Structures.* Nova York: SpringerLink, 1998.

TABARROK, B.; QIN, Z. *Dynamic analysis of tension structures. Computers & Structures.* Elsevier Science Ltd., Inglaterra, 1997.

TITOTTO, Silvia L.M.C, PAULETTI R.M.O e BRASIL, R.M.R.L.F. *Tensile Structures: Form and Function Relationships*.Textile Composites and Inflatable Structures. E. Onãte and B. Kröplin (Eds) ©CIMNE, Barcelona, 2003.

ZHAOHUI, Wei e ZHENYA, Gu - A study on novel waterproof and moisture-permeable poly (vinylidene fluoride) micropore membrane-coated fabrics - *Journal of Applied Polymer Science* - Volume 79, Issue 5, p. 801–807, 31 Janeiro 2001. Nova York: John Wiley & Sons, Inc. 2000.

***Sites* na Internet de organizações e escolas:**

ABIT - http://www.abit.org.br

ABRAFAS - www.abrafas.org.br

IASS (International Association for Shell and Special Structures) - www.iass-structures.org

IFAI (Industrial Fabric Association International) - www.ifai.com

IMS (Institute for Membrane and Shell Technologies) – www.ims-institute.org

Editora Starbooks – www.starbooks.es

FSA – www.fabricstructuresassociation.org

Laboratório de Mecânica Computacional – Universidade de São Paulo
http://www.lmc.ep.usp.br/1snt/programa.html

POLI/USP - www.lmc.ep.usp.br/people/pauletti/

POLITECNICA CATALUNYA -
http://sites.upc.es/~www-ca1/cat/recerca/tensilestruc/portada.html

POLITECNICO de Milão -
http://www.architetturatessile.polimi.it/membrane_scocche/home.htm

Portal Met@lica - http://www.metalica.com.br/tensoestruturas

Tensinet – www.tensinet.com

Vinyl 2010 – www.vinyl2010.org

***Sites* na internet de empresas ligadas ao setor**:

Arkema Inc. (França) – www.arkema.com

Atex – www.atex-membranes.com

Birdair (Estados Unidos, Brasil) – www.birdair.com

Cabot Corporation (Estados Unidos) – www.carbot-corp.com

Chuloh (Japão) - www.chukoh.co.jp

Fabric Architecture USA e UK www.fabricarchitecture.com/signature-structures/skylar#

FiberTech (Arábia Saudita) – www.fiber-tec.com

Foster and Partners - www.fosterandpartners.com

Gore (Estados Unidos) – www.gore.com

HeyTex (Alemanha) - www.heytex.de

Ledervin (Brasil) – www.ledervin.com.br

Mehler Texnologies (Alemanha) – www.mehler-tecnologies.com

Naizil (Itália) – www.naizil.com

Obeikan Technical Fabrics Co. Ltd.(Arábia Saudita) – www.obeflex.com

Pistelli (Brasil) - http://www.arquiteturatextil.com.br

Sansuy (Brasil) – www.sansuy.com.br

Serge FERRARI (França) – www.sergeferrari.com e www.ferrari-architecture.com

Sheerfill (Saint Gobain Performance Plastics) (França) – www.sheerfill.com

Sioen (Belgica) – www.sioen.be

Taconic (USA, Japão, Europa) – www.taconic-afd.com

Tecnostaff (Brasil) - www.tecnostaff.com.br

Tensoforma (Itália) - www.tensoforma.com

Verseidag (Alemanha) – www.verseidag.de e www.seemeeus.com

Anexo I – Questionário para Montadoras de estruturas

Questionário de pesquisa - Mestrado de Regina Guidon de Assis

EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo

Esta pesquisa tem como principal objetivo o levantamento de informações para meu trabalho de mestrado cujo título é "**Um estudo da Arquitetura Têxtil no Brasil: estruturas tensionadas feitas com membranas de poliéster/PVC**", sob orientação da Professora Doutora Cláudia Garcia Vicentini no programas de Pós-Graduação em Têxtil e Moda da EACH (Escola de Artes, Ciências e Humanidades) da Universidade de São Paulo.
A pesquisa não tem caráter comercial e as respostas serão usadas em conjunto, sem identificação individual da pessoa entrevistada.

1) Qual sua profissão?
Engenheiro ☐ Arquiteto ☐ Outro ☐ Especifique _____

2) Na sua opinião o termo "Arquitetura Têxtil" significa:
Apenas as estruturas tensionads feitas com membranas (PES/PVC, Vidro/PTFE, etc) ☐
Estruturas tensionadas, tendas e coberturas em geral, também feitas com membranas e lonas ☐
Outra definição (especifique) _____

3) Seus projetos, em geral, envolvem que tipo de estruturas? Permanentes e/ou temporárias?

Estruturas tensionadas ☐ De caráter temporário ☐
Tendas para eventos ☐ De caráter permanente ☐
Outro (especificar) _____

4) Quem são os principais clientes para este tipo de estrutura atualmente?

Empresas privadas ☐ Órgãos federais ☐
Pessoas físicas ☐ Órgãos estaduais ☐
Outro (especifique) _____ Órgãos municipais ☐

5) Quais das qualidades abaixo são normalmente percebidas neste tipo de estrutura?

Beleza ☐ Leveza ☐ Modernidade ☐
Conforto ☐ Praticidade ☐ Economia ☐
Outro (especifique) _____

6) Quais as principais desvantagens deste tipo de estrutura?

Desconhecimento por parte dos potenciais clientes ☐
Poucos profissionais especializados para trabalhar neste tipo de projeto ☐
Falta de informações técnicas ☐
Faltam normas técnicas e legislação específica ☐
Barreira cultural ☐
Fatores climáticos desfavoráveis (calor, chuva, etc) ☐

7) Que tipo de membrana você utiliza?

Poliéster/PVC - Nacional ☐ Vidro/PTFE ☐
Poliéster/PVC - Importada ☐ Outra (especifique) ☐
Poliéster/PVC Nacional e Importada ☐

8) Qual o critério para escolha do tipo de membrana?

Especificação técnica do projeto ☐ Orçamento ☐
Qualidade ☐ Durabilidade ☐
Solicitação do cliente ☐

9) Quais fornecedores abaixo você conhece, já trabalhou ou trabalha regularmente?

	Conhece	Já trabalhou	Trabalha regularmente
Serge Ferrari	☐	☐	☐
Mehler Haku	☐	☐	☐
Sansuy	☐	☐	☐
Ledervin	☐	☐	☐
Naizil	☐	☐	☐
Verseidag	☐	☐	☐
Saint Gobain	☐	☐	☐

Outros (especifique) _____

10) A arquitetura Têxtil é bem conhecida e difundida no Brasil?

Sim ☐ Não ☐ Depende da região ☐

11) Quais são as perspectivas futuras para este segmento?

Forte crescimento ☐ Estagnação ☐
Médio crescimento ☐ Decadência ☐
Discreto crescimento ☐ Outro (especifique) _____

12) Quais normas de qualidade são usadas para análise e especificação das membranas?

ABNT ☐ DIN ☐
ISO ☐ ASTM ☐
Outra (especifique) _____

13) Quais as fontes de informações mais usadas por voocê para se atualizar sobre o tema?

Revistas especializadas ☐
Sites dos fornecedores ☐
Artigos técnicos ☐
Livros ☐
Cursos de especialização ☐
Outras fontes (especifique) _____

14) Se desejar, escreva algum comentário ou observação sobre o assunto.

Anexo II – Questionário para fabricantes de membranas

Questionário de pesquisa - Mestrado de Regina Guidon de Assis

EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo

Esta pesquisa tem como principal objetivo o levantamento de informações para meu trabalho de mestrado cujo título é "**Um estudo da Arquitetura Têxtil no Brasil: estruturas tensionadas feitas com membranas de poliéster/PVC**", sob orientação da Professora Doutora Cláudia Garcia Vicentini no programas de Pós-Graduação em Têxtil e Moda da EACH (Escola de Artes, Ciências e Humanidades) da Universidade de São Paulo.
A pesquisa não tem caráter comercial e as respostas serão usadas em conjunto, sem identificação individual da pessoa entrevistada.

1) Quantos tipos de membranas para aplicação arquitetura têxtil (especificamente estruturas tensionadas) sua empresa vende no Brasil atualmente? Comente se achar necessário.

1 tipo de membrana ☐
2 tipos de membrana ☐
3 tipos de membranas ☐
4 tipos de membranas ☐
5 tipos de membranas ☐
Mais de 5 tipos ☐
Outro (espeficifque)_____

2) Quais tipos de membranas?

PES/PVC ☐
PES/PVC/PVDF ☐
Vidro/PTFE ☐
Outro (especifique) _____

3) Quais as principais dificuldades para atuar neste segmento?

Baixo conhecimento dos potenciais clientes sobre arqutetura têxtil ☐
Imagem de obra para evento temporário ☐
Barreira cultural (preferência por obras convencionais) ☐
Poucos profissionais com conhecimento especializado ☐
Custo/benefício das membranas ☐
Concorrência com materiais inferiores ☐
Dificuldade de manutenção ☐
Condições climáticas desfavoráveis ☐
Condições geográficas desfavoráveis ☐
Taxa de câmbio ☐
Outra (especifique) _____

4) Quais os principais pontos fortes deste tipo de arquitetura percebidos pelos clientes?

Estética/beleza ☐
Agilidade (rapidez de montagem) ☐
Custo competitivo ☐
Modernidade ☐
Outro (especifique)_____

5) Qual é a sua principal diferença competitiva?

Qualidade superior ☐
Preço competitivo ☐
Tecnologia de produção ☐
Líder de mercado ☐
Gama de produtos ☐
Knowhow específico ☐

6) Aproximadamente, qual o número de clientes de membranas para estruturas tensionadas no Brasil?

Entre 1 e 5 empresas ☐
Entre 5 e 10 empresas ☐
Entre 10 e 15 empresas ☐
Entre 15 e 20 empresas ☐
Mais de 20 empresas ☐
Outro número (especifique)_____

7) Qual é a sua expectativa para os próximos 3 anos?

Mercado estável ☐
Mercado em crescimento ☐
Mercado em queda ☐
Outra opção (especifique) _____

8) A Copa e os Jogos Olímpicos provocarão algum impacto neste segmento?

Sim ☐
Não ☐
Quase nenhum impacto ☐
Vai impactar positivamente ☐
Vai impactar negativamente ☐
Outra resposta_____

9) Deixe seu comentário sobre o assunto. Obrigada!

_____
_____