

# ESTUDO E MONTAGEM DE ESTRUTURA PARA TESTES DE MÓDULOS DE FILMES FINOS POR LIGHT-SOAKING

**Luiz Antonio Piccoli Junior** – luiz.piccoli@ufrgs.br

**Cristiano Saboia Ruschel** – cristianosaboia@gmail.com

**Arno Krenzinger** – arno@mecanica.ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica

**Resumo.** *Recentemente, um novo prédio foi construído no Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Sua cobertura foi projetada de forma a possuir uma área disponível para a instalação de módulos fotovoltaicos. Esse estudo descreve o projeto e a instalação de uma estrutura para fixação de módulos fotovoltaicos com um ângulo favorável ao aproveitamento da energia solar. Uma das utilizações dessa estrutura será o suporte de módulos que utilizam a tecnologia de filmes finos, pois normas internacionais requerem que os mesmos passem por um ensaio conhecido como light-soaking, que inclui exposição à radiação solar por determinados períodos. A norma europeia, IEC 61646, que exige tais ensaios, é apresentada e brevemente discutida. Foi verificada a área útil do local disponível, a partir de um modelo dos dois prédios do LABSOL modelado no software SketchUp, de forma a analisar o sombreamento do terraço. Os motivos que levaram a escolha da inclinação da estrutura em 20 ° são discutidos, comparando diferentes possibilidades. A escolha de perfis de alumínio como material construtivo é justificada. Os esforços na estrutura foram calculados levando-se em consideração o peso dos módulos e as forças aerodinâmicas que possam incidir-las devido ao vento, possibilitando o dimensionamento dos perfis. É apresentada, por fim, a execução da montagem completa da estrutura, mostrando os processos realizados e seus detalhes construtivos.*

**Palavras-chave:** *Energia Solar, Estrutura Metálica, Módulos Fotovoltaicos, Light-Soaking.*

## 1. INTRODUÇÃO

A energia solar é inesgotável e abundante, sua utilização como alternativa de fonte energética vem sendo aplicada em diversos países. A implementação desse tipo de produção de energia é um processo que depende das características econômicas e políticas de cada país e por isso, seu amplo desenvolvimento, no curto prazo, não é de fácil previsão. Todavia, é consenso entre pesquisadores, empresários e autoridades governamentais que, em longo prazo, a energia solar ocupará um importante papel na matriz energética mundial.

Para estabelecer requisitos mínimos de desempenho e segurança dos equipamentos envolvidos na produção de energia solar e também classificar o desempenho desses equipamentos, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO criou a portaria nº 004/2011. Com base nesse documento, os testes de conformidade de módulos fotovoltaicos no Brasil são realizados por entidades credenciadas por essa autarquia. O objetivo desse teste é verificar se o desempenho do módulo fotovoltaico declarado pelo fabricante confere com o ensaiado em laboratório, além de estabelecer critérios de segurança na operação desse tipo de equipamento. Cabe salientar que os módulos fotovoltaicos só podem ser comercializados no Brasil após serem aprovados nesses testes. Atualmente, um dos laboratórios autorizados pelo INMETRO a realizar estes ensaios é o Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A estrutura de fixação de módulos fotovoltaicos é item importante no estudo da implementação de um sistema de produção de energia solar. Quando disponível, geralmente se utiliza o próprio telhado da edificação para fixação dos módulos. Em outras situações, se faz necessário construir uma estrutura para esse fim. Recentemente, foi construído no LABSOL um novo prédio, com o objetivo principal de abrigar um simulador solar para testes de módulos fotovoltaicos, além de ampliar o espaço para ensaios experimentais. A cobertura desse prédio possui piso plano com uma área disponível projetada para a realização de testes em módulos fotovoltaicos que necessitam maior tempo de exposição à luz solar para análise, em especial os que utilizam a tecnologia de filmes finos.

## 2. OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo estudar, projetar e instalar uma estrutura para testes de verificação de módulos fotovoltaicos com tecnologia de filmes finos. O espaço disponível para a instalação da estrutura para os testes é uma área plana de 68 m<sup>2</sup> localizada na cobertura do novo prédio do LABSOL conforme mostra a Fig. 1.



Figura 1 - Cobertura do novo prédio do LABSOL.

De forma a otimizar a utilização da cobertura apresentada na Fig. 1, fez-se necessário o estudo do ângulo de inclinação mais favorável em termos do aproveitamento da quantidade de radiação solar incidente na área, estudo das características dos módulos fotovoltaicos de tecnologia de filmes e a quantidade que podem ser instalados e o estudo do material necessário a ser utilizado no projeto da estrutura. Além desses, foi necessário, e essencial, examinar o sombreamento na área de instalação da estrutura devido a obstáculos (exemplo: pilares contidos o projeto da edificação), o que prejudica a realização dos testes.

### 3. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Os estudos realizados nesse trabalho foram divididos em cinco partes. Inicialmente, é apresentada uma breve introdução sobre a edificação onde será instalada a estrutura e, em seguida, os demais itens são discutidos.

#### 3.1 Apresentação da edificação

O Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul está situado no Campus do Vale e sua área conta com dois prédios. A Fig. 2a mostra a fachada norte do primeiro e principal prédio do LABSOL, já a Fig. 2b mostra o novo prédio que fica ao sul da primeira edificação. Essa edificação teve sua construção concluída em agosto de 2013 e abriga um simulador solar para testes de módulos fotovoltaicos. A cobertura do prédio foi construída com a previsão de ser utilizado para a instalação de painéis solares.

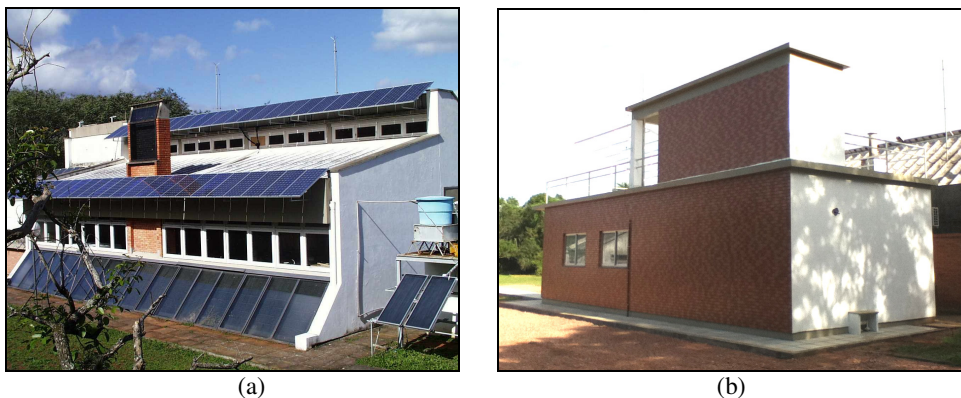


Figura 2 – Fachada norte do prédio principal (1a) e fachada sul do novo prédio (1b).

#### 3.2 Ensaio de verificação de módulos fotovoltaicos de filmes finos

Assim como os módulos fotovoltaicos de silício cristalino, os módulos com as tecnologias de filmes finos são atualmente testados e certificados no Brasil segundo a portaria 004/2011 do INMETRO. Todavia, está em fase de discussão modificar os requisitos de verificação para módulos com as tecnologias de filmes finos, pois as características elétricas dos materiais utilizados nesses módulos só se estabilizam após receber exposição luminosa de determinada quantidade de energia, chamada de, do inglês, *light-soaking*. A norma internacional IEC 61646 (2008) estabelece requisitos de verificação de módulos de filmes finos levando em conta essas características.

Segundo a norma IEC 61646, tanto um simulador solar quanto a luz solar natural podem ser utilizados no teste dos módulos com as tecnologias de filmes finos. O ensaio *light-soaking* consiste em submeter os módulos expostos à radiação solar (natural ou artificial) até que sua potência máxima estabilize. Para verificar a estabilização da potência, deve-se submeter o módulo a uma exposição solar de ao menos 43 kWh.m<sup>-2</sup> quando o módulo estiver com temperatura no intervalo entre 40 °C e 60 °C e registrar os dados medidos. A estabilização ocorre quando, para duas medições de períodos consecutivos de exposição solar, o critério apresentado pela Eq. (1) é atendido.

$$\frac{P_{m\acute{a}x} - P_{m\acute{i}n}}{P_{m\acute{e}d}} < 2 \% \quad (1)$$

onde  $P_{m\acute{a}x}$  e  $P_{m\acute{i}n}$  são as potências máxima e mínima registradas nos períodos consecutivos e  $P_{m\acute{e}d}$  é o valor médio entre as duas.

O comportamento da potência máxima dos módulos fotovoltaicos de filmes finos é conhecido e sabe-se que o valor da potência deve diminuir após a exposição solar, até a estabilização. Portanto, de acordo com a Eq. (1), pode-se dizer que  $P_{m\acute{a}x}$  é a potência máxima medida após o primeiro período de exposição solar,  $P_{m\acute{i}n}$  é a potência medida após o segundo período de exposição solar e  $P_{m\acute{e}d}$  é a média entre esses dois valores. As medições de potência para verificação do critério da Eq. (1) após cada período de exposição solar podem ser realizadas a qualquer temperatura, mas em um intervalo de variação dentro de dois graus Celsius.

Por utilizar a radiação do sol, o tempo total do ensaio depende das condições climáticas e por isso, pode durar uma semana como um ou até vários meses. Dessa maneira, a estrutura dos módulos deve ser de fácil acesso e as posições de fixação devem ser ajustáveis, permitindo fixar módulos de diferentes tamanhos e em diferentes posições. Igualmente, devem-se posicionar sensores de temperatura nos módulos e registrar os dados constantemente. A radiação solar deve ser medida e integrada no período em que a temperatura do módulo estiver no intervalo de aceitação.

### 3.3 Escolha do ângulo de inclinação

Idealmente, a orientação (ângulo azimutal de superfície) e inclinação de um módulo fotovoltaico deve ser tal que os raios solares cheguem perpendiculares à superfície do módulo em todas as horas de sol em um dia. Portanto, o módulo deve sempre apontar em direção ao sol, devendo ser rotacionado no eixo azimutal durante o dia e no eixo vertical num intervalo maior, conforme o caminho aparente do sol fosse mudando significativamente. Existem instalações fotovoltaicas que utilizam esse tipo de controle (rastreador solar), como por exemplo sistemas com concentrador da radiação solar, que precisam estar sempre apontados para o sol. Oliveira (2008) desenvolveu e analisou o desempenho de um gerador fotovoltaico com seguidor azimutal, estimando ganhos de até 28 % em dias de céu parcialmente limpos quando em comparação com o gerador de posição fixa. Por outro lado, em dias nublados os ganhos com o seguidor solar são nulos. Para esses dias, idealmente o módulo deveria estar na posição horizontal, já que essa radiação solar é proveniente de todo o hemisfério que está no campo de visão da face do painel. Como esses controles demandam gasto de energia e o ganho em eficiência não é muito significativo para a maioria dos casos, a maior parte das instalações fotovoltaicas é feita com módulos fixos.

No hemisfério sul, deve-se orientar o módulo inclinado em direção ao Norte, de modo a receber mais radiação direta ao longo do ano. A melhor inclinação para a instalação do módulo fixo é próxima da latitude do local. Para coletores para conversão térmica, geralmente se utilizam inclinações maiores que a latitude para favorecer a captação de radiação no inverno, quando os raios solares chegam mais inclinados. Para painéis fotovoltaicos, dependendo do clima do local, ângulos maiores ou menores que o da latitude podem ser mais favoráveis. Por exemplo, se uma região apresenta invernos historicamente mais chuvosos, com pouca radiação direta, pode ser vantajoso utilizar um ângulo menor de forma a aproveitar melhor a radiação recebida no verão.

**Características climáticas de Porto Alegre.** O clima de Porto Alegre é caracterizado como subtropical úmido e com estações do ano bem definidas. A Fig. 3 mostra dados de radiação solar extraterrestre para a latitude 30 °, retirados de Duffie e Beckman (1991), e também os valores de radiação solar global no plano horizontal para Porto Alegre, fornecidos pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)(2013), o qual disponibiliza em seu sítio, arquivos com dados climáticos de diversas cidades brasileiras, ou seja, arquivos de anos meteorológicos típicos (Typical Meteorological Year – TMY, em inglês) que utilizam dados horários registrados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre os anos de 2000 e 2010. Os valores de radiação solar apresentados na Fig. 3 são valores diários médios para cada mês do ano. Com a radiação solar extraterrestre na latitude de Porto Alegre e também a radiação solar do ano climático típico, pode-se estimar um valor médio para o coeficiente de transparência atmosférico,  $k_t$ , descrita pela Eq. (2):

$$k_t = \frac{H}{H_0} \quad (2)$$

onde  $H$  é a radiação global diária para o plano horizontal, em  $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$  e  $H_0$  é a radiação extraterrestre para o plano horizontal em  $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$ .

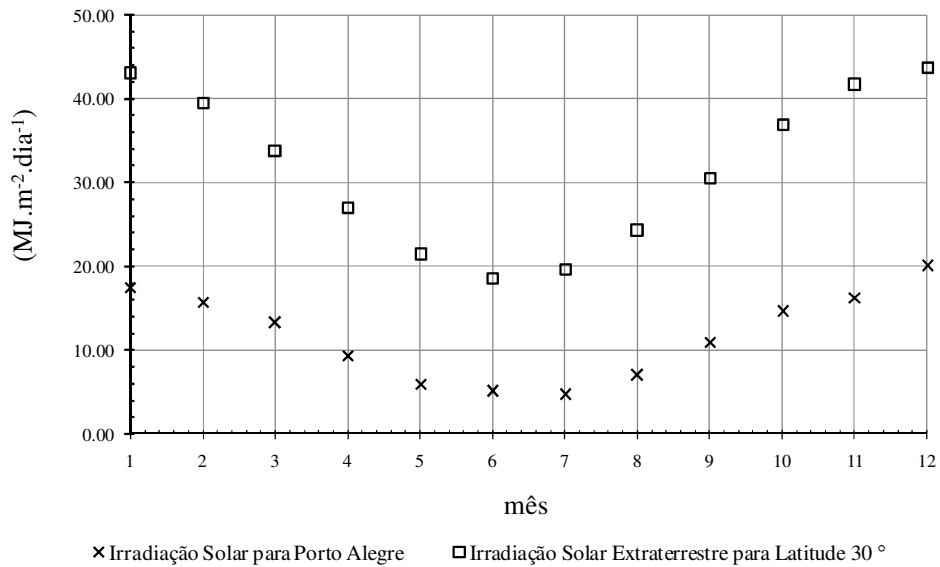


Figura 3 - Irradiação solar extraterrestre, Duffie e Beckman (1991), e irradiância solar em Porto Alegre, LABEEE (2013), em valores diários médios para cada mês do ano.

O valor do  $k_t$  foi calculado seu resultado pode ser visto pela Fig. 4. De acordo com a Fig. 4, é possível verificar que nos meses de inverno o coeficiente de transparência é menor do que nos meses de verão, para Porto Alegre. Isso acontece porque o inverno em Porto Alegre é tipicamente chuvoso, sendo os meses de verão os que apresentam maior número de dias com céu limpo.

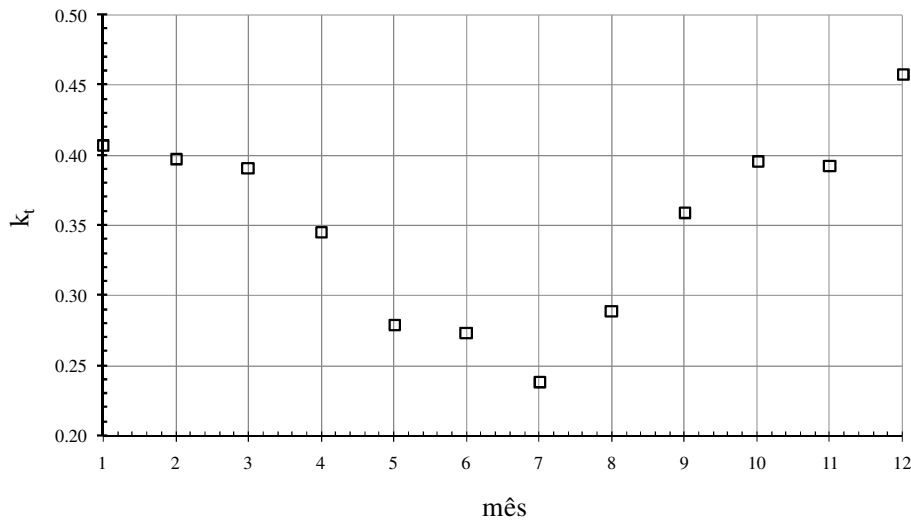


Figura 4 - Estimativa do coeficiente de transparência atmosférico médio para cada mês em Porto Alegre.

**Simulação com EnergyPlus.** O software de simulação de desempenho termo-energético EnergyPlus utiliza os dados climáticos do arquivo do tipo TMY e pode calcular a irradiância solar ao longo do ano numa superfície inclinada para dada região. Dessa maneira, foram feitas quatro simulações com uma superfície inclinada direcionada ao Norte geográfico com a inclinação variando de  $10^\circ$  a  $40^\circ$ . A Tab. 1 mostra os resultados de irradiância solar global na superfície inclinada total em um ano para os quatro ângulos simulados.

Tabela 1 - Irradiação solar global na superfície inclinada, valor total anual em MJ/(m<sup>2</sup>.ano<sup>-1</sup>)

Inclinação superfície (graus)	Irradiação Solar (MJ.m <sup>-2</sup> .ano <sup>-1</sup> )
40	4.210
30	4.354
20	4.398
10	4.344

Com os dados da Tab. 1, verifica-se que, para o ano climático de Porto Alegre considerado, as mudanças de ângulo nessa faixa produzem pouca diferença, ou seja, a mudança da inclinação de 30 ° para 20 ° resulta num ganho de aproximadamente 1 % de energia anual e a mudança de 40 ° para 30 ° resulta num ganho de 4,5 % de energia. Cabe salientar que, com a utilização da inclinação de 10 °, a estrutura e os módulos ficam mais suscetíveis ao acúmulo de poeira e outros resíduos, causando um bloqueio de parte da radiação solar incidente. Além disso, a utilização de estruturas de módulos com inclinações muito elevadas ocasionam maiores esforços aerodinâmicos e também oferecem maior dificuldade na montagem. Dessa maneira, concluiu-se que para esse caso a inclinação de 20 ° é a melhor opção.

### 3.4 Análise da área útil

Para verificar a área livre de sombra no terraço, os dois prédios do LABSOL foram modelados no *software* SketchUp. Esse programa simula o caminho do sol após o usuário indicar a localização geográfica, data e hora desejadas. Dessa maneira, pode-se visualizar a incidência de radiação solar direta em um modelo tridimensional. A Fig. 5 mostra o modelo tridimensional e o sombreadamento nos prédios do Laboratório de Energia Solar, que está localizado nas coordenadas geográficas a 30°04'28,82'' Sul e 51°07'31,89'' Oeste, para o solstício de inverno (21/06) às dez horas da manhã.

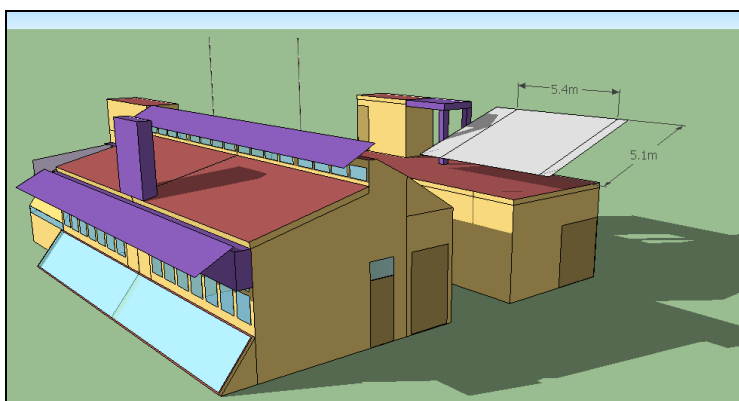


Figura 5 - Projeto da estrutura dos módulos fotovoltaicos, com sombreadamento, inserida na nova edificação do Laboratório de Energia Solar desenvolvido no software SketchUp, e simulado para o dia 21/06 às dez horas da manhã.

De acordo com a Fig. 5, e considerando as dimensões do terraço, foi projetado um plano com 20 ° de inclinação orientado para o norte geográfico e cujas dimensões são: 5,1 m de comprimento por 7,2 m de largura. O plano foi posicionado de maneira que fique projetado em balanço 1,7 m para a parte sul do prédio. Pela Fig. 5, é possível ver que a parte leste do plano projetado é sombreada pelos pilares do prédio da edificação. Na extremidade oeste, o plano recebe sombra no vértice inferior do guarda-corpo do terraço do prédio. Dessa maneira, excluindo as partes sombreadas, pode-se verificar que aproximadamente 5,4 m da largura desse plano projetado pode ser aproveitada totalmente na recepção da radiação solar direta a partir das 10 horas da manhã no dia 21 de junho, dia mais curto do ano e dia em que a posição aparente do sol no céu para um observador na terra atinge sua máxima inclinação. Para fins práticos, a área útil adotada pelo projeto foi de 5,1 m de comprimento por 5,0 m de largura, o que corresponde a 25,5 m<sup>2</sup> de área. Estima-se que ao menos 15 módulos fotovoltaicos possam ser fixados nessa estrutura.

### 3.5 Verificação dos esforços e modelo tridimensional

A estrutura a ser instalada deve suportar o peso dos módulos fotovoltaicos e também esforços dinâmicos provenientes do vento. Módulos fotovoltaicos que utilizam a tecnologia de filmes finos possuem, em média, maior peso do que os de tecnologia de silício. Pela facilidade de montagem e durabilidade, o material escolhido para compor a estrutura foi o alumínio, na forma de perfis, que são comercializados em conjunto com elementos de fixação, permitindo uma liberdade de montagem ao usuário. Foi definido, anteriormente aos cálculos, a forma da estrutura, ou seja, uma grelha com 4 barras longas no sentido longitudinal, e 8 barras transversais menores entre cada par de barras

longas, totalizando 24 desse tamanho; suportadas por 12 barras verticais com corte no ângulo escolhido. O modelo tridimensional descrito é apresentado na Fig. 6.

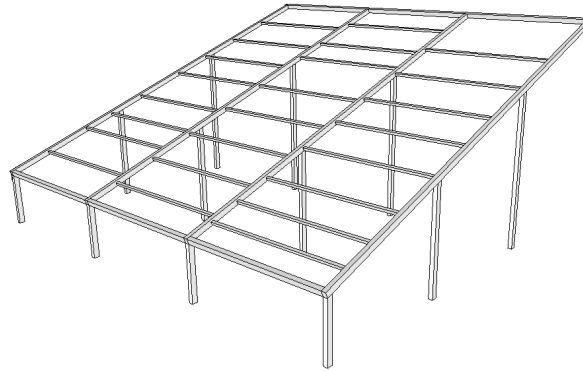


Figura 6 - Modelo tridimensional da estrutura.

Para o dimensionamento da seção do perfil, foram calculados os esforços devidos ao momento fletor na superfície, conforme mostra a Eq. (3), pois esses são muito maiores que os esforços devidos a tensões normais e cisalhantes.

$$\sigma_x = \frac{M_z y}{I_z} \quad (3)$$

onde  $\sigma_x$  é a tensão normal no eixo axial do perfil, em  $\text{N.m}^2$ ;  $M_z$  é o momento fletor no eixo de rotação  $z$  causado pelas forças atuantes no perfil, em  $\text{N.m}$ ;  $y$  é a altura do perfil a partir do eixo de simetria, em metros e  $I_z$  é o momento de inércia do eixo  $z$ , em  $\text{m}^4$ .

Como primeiro estudo de caso, foram calculados os esforços causados pelo peso dos módulos fotovoltaicos. Foram considerados, ao todo, quinze módulos, cada um com peso médio de 40 kg, resultado em um momento fletor máximo de 550  $\text{N.m}$ . Posteriormente, foi considerada a ação do vento incidindo na estrutura. Por ser o caso mais crítico possível, foi estudado um vento perpendicular à estrutura, conforme ilustrado na Fig. 7.

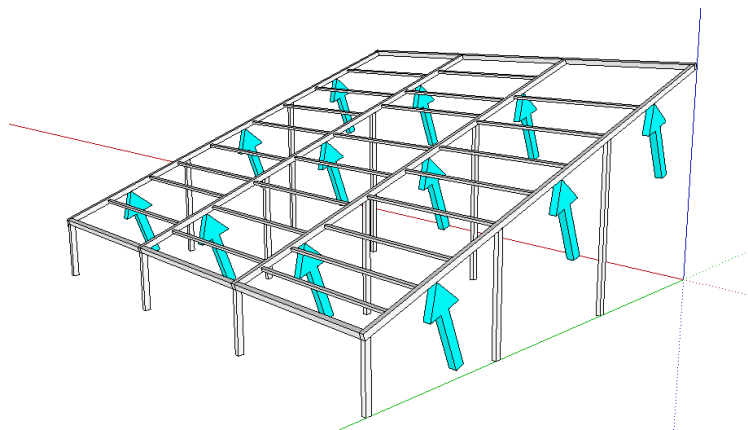


Figura 7 - Incidência do vento na estrutura.

De acordo com a Fig. 7 a estrutura possui dimensões de altura e largura muito maiores que a profundidade, podendo, para fins de cálculo aerodinâmico ser considerada como uma placa plana, na qual age apenas arrasto de pressão, com coeficiente  $C_d$  de 1,17 para razão de aspecto próxima à unidade, conforme descrito por Fox e McDonald (2001). O vento utilizado para cálculo foi de 30  $\text{m/s}$ . A força aplicada na estrutura pela ação do vento é dada pela Eq (4).

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho U^2 A \quad (4)$$

onde  $C_d$  é o coeficiente de arrasto, adimensional;  $\rho$  é a massa específica do ar, em  $\text{kg/m}^3$ ;  $U$  é a velocidade do vento, em  $\text{m/s}$  e  $A$  é a área da superfície, em  $\text{m}^2$ .

Para o efeito da incidência do vento, foi considerado que toda a superfície isto é,  $A=25,5 \text{ m}^2$ , estivesse atuando sob a ação dos ventos. A força resultante calculada foi de 16.868 N. Realizando os cálculos para módulos fotovoltaicos mais leves, ou seja, de 20 kg cada um, o momento fletor encontrado foi no valor de 1.325 N.m. Em ambos os casos, os pontos mais solicitados foram nas junções das barras longitudinais com os apoios mais altos. A Eq. (3) também foi utilizada para calcular a magnitude da tensão aplicada utilizando-se dois diferentes tipos de perfis. Os resultados encontrados são apresentados na Tab. 2. (É importante mencionar que o valor de tensão de escoamento do material dado pelo fabricante é de 176,5 MPa).

Tabela 2 - Resultados do cálculo da tensão normal resultante nos perfis.

Perfil	Altura máxima y	Momento de Inércia I	Tensão Normal $\sigma$	Coef. de Segurança
40 mm x 40 mm	20 mm	7,2 $\text{cm}^4$	368 MPa	0,48
45 mm x 60 mm	30 mm	35,4 $\text{cm}^4$	112 MPa	1,57

A partir dos resultados encontrados na Tab. 2, o perfil selecionado para compor as barras principais da estrutura foi o de 45 mm x 60 mm. As barras secundárias, cuja função principal é de fixação e apoio dos módulos fotovoltaicos, foram selecionadas de 30 mm x 30 mm, reduzindo assim o custo total do material utilizado. Cabe salientar que as uniões entre as barras verticais mais altas e as longitudinais da estrutura, feitas em ângulo, estão sujeitas a grandes esforços.

#### 4. MONTAGEM

A montagem da estrutura aconteceu em duas etapas: a primeira composta por processos de usinagem como corte e furação e a segunda por união das barras. Os cortes foram feitos nas barras verticais, com ângulo de 20 °. A Fig. 8 mostra as barras de alumínio utilizadas e os processos de usinagem realizados.

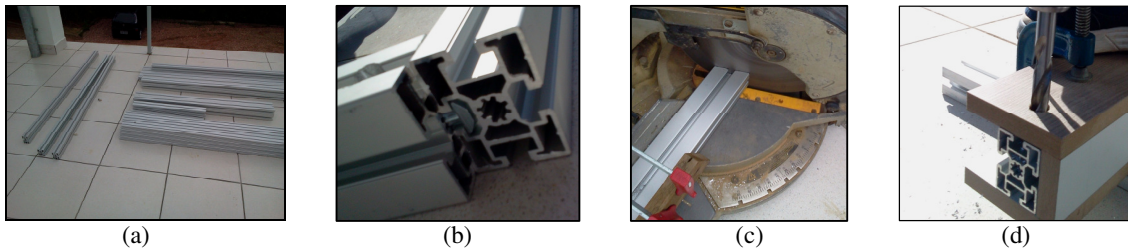


Figura 8 - (a) Barras de alumínio utilizadas na montagem; (b) Conexão perpendicular; (c) Processo de corte em ângulo das barras verticais; (d) Processo de furação das barras utilizando gabarito de madeira.

A Fig. 9a mostra a chapa de reforço utilizada na estrutura e a Fig. 9b mostra a união entre uma barra vertical e uma longitudinal. As barras verticais também foram furadas para que o conector pudesse ser instalado. A Fig. 9c mostra a chapa de reforço montada na estrutura, essa placa foi furada e parafusada nas junções em ângulo, que são os pontos mais solicitados. As barras transversais que ficam dentro da grelha da estrutura são perfis com dimensão de área menor e foram fixados nas barras longitudinais com cantoneiras de alumínio, a Fig. 9d mostra uma dessas barras fixada. Todas as conexões utilizadas possibilitam mudança de posição, pois os perfis possuem rasgos por onde a cabeça do parafuso pode deslizar, caso seja diminuído o seu aperto.



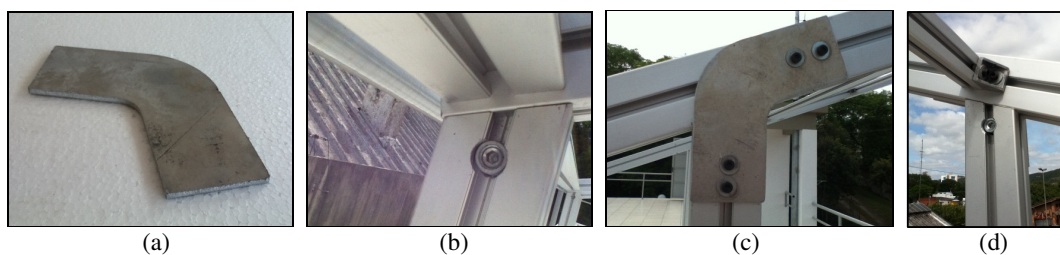


Figura 9 - (a) Chapa de alumínio com 3 mm de espessura para reforçar uniões em ângulo; (b) Conexão em ângulo do perfil vertical com o longitudinal; (c) Chapa de reforço montada na estrutura; (d) Cantoneira de alumínio fixando barra transversal.

Finalmente, a estrutura é fixada no piso com duas cantoneiras de aço em cada barra vertical por meio de parafusos. A fim de auxiliar na fixação da estrutura, em especial para o caso de fortes ventos, ela será presa ao prédio do seu ponto mais alto por cabos de aço tensionados. A fixação com cabos evitará que, em casos extremos, o vento atue no sentido de desprendê-la do chão. A Fig. 10 mostra a estrutura projetada instalada na nova edificação do LABSOL/UFRGS.



Figura 10 - Estrutura metálica montada.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos aqui realizados são de fundamental importância para a instalação de um sistema solar, independente de suas dimensões. Os cálculos estruturais são os principais a serem realizados, já que é preciso garantir a integridade física da estrutura durante a vida útil dos módulos fotovoltaicos nela instalados. Nesse sentido, a escolha do material deve ser feita de modo que resista às intempéries. Apesar de sua excelente resistência mecânica, o aço necessita tratamentos superficiais ou pintura cuidadosamente efetuadas, ou a estrutura sofrerá ação da corrosão, diminuindo sua resistência e podendo ocasionar acidentes. Portanto, a utilização de materiais com melhor resistência à ação do tempo, como aço inoxidável ou alumínio deve ser considerada, apesar do maior custo inicial de instalação.

A análise do sombreamento causado por obstáculos também deve ser realizada para um melhor aproveitamento da energia em instalações solares. Em sistemas fotovoltaicos, a incidência de pequenas sombras pode levar a grandes perdas de energia e também a danos permanentes nos módulos. Muitas vezes, pequenos sombreamentos são desprezados indevidamente e o mau desempenho da instalação fotovoltaica resultante desse fato pode ser atribuído erroneamente a outra hipótese.

O estudo feito para escolha do ângulo de inclinação mostrou a importância da realização de uma análise específica para o local onde o sistema será instalado, pois além da latitude, as condições climáticas da região influenciam na inclinação ideal para aproveitamento da energia solar. Para Porto Alegre, o ângulo com melhor aproveitamento de radiação solar utilizando o ano climático típico foi de 20 °, sendo 10 ° menor que a latitude local. Apesar de a diferença ser pequena e sujeita à variabilidade anual, a construção de uma estrutura de menor inclinação tem vantagens significativas. Os ganhos são em decorrência de redução de material utilizado e diminuição de esforços mecânicos que atuam devido às forças aerodinâmicas.



## **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Centro Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro a esse trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons.
- Fox, R., Mcdonald, A., 2001. Introdução à Mecânica dos Fluidos, Rio de Janeiro: LTC.
- IEC, International Electrotechnical Commission - 61646, 2008. Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval.
- INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Portaria 004, 2011. Requisitos de avaliação da conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica.
- LABEEE, Laboratório de Eficiência Energética de Edificações. Disponibiliza arquivos climáticos. Disponível em <<http://www.labee.ufsc.br>>, acessado em setembro de 2013.
- Oliveira, M.M., 2008. Análise do Desempenho de um Gerador Fotovoltaico com Seguidor Solar Azimutal. Dissertação de Mestrado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.

## **STUDY AND ASSEMBLY OF A STRUCTURE TO TEST THIN FILMS FOTOVOLTAIC MODULES BY LIGHT-SOAKING**

**Abstract.** *Recently, a new building was constructed for the Solar Energy Laboratory on the Federal University of Rio Grande do Sul (LABSOL – UFRGS). Its top was designed as to have an area available for the installation of photovoltaic modules. This study describes the project and the installation of a structure to fixe of these equipments with an angle favorable for the use of solar energy. One of the structure's uses will be the supporting of thin film photovoltaic modules, as international standards require them to be submitted to a test known as light-soaking, which includes their exposition to solar radiation for defined periods of time. The European certification, IEC 61646, which requires these tests, is briefly explained and discussed. The useful area from the available site was verified, using a model of both LABSOL's building created on SketchUp, analyzing the studied area's shading. The reasons which lead to the choice of the structure's inclination angle of 20 ° are discussed, comparing different possibilities. The choice of aluminum profiles as constructive material is justified, and the forces acting on the structure were calculated considering the modules weight and the aerodynamic forces that can act on it due to the wind, enabling the dimensioning of the profiles. Finally, it is presented the complete assembly of the structure, showing the performed processes and constructive details.*

**Key words:** *Solar Energy, Metallic Structure, Photovoltaic Modules, Light-Soaking.*