



## **Estudo da energia solar fotovoltaica na arquitetura bioclimática**

**Amanda Felipe da Silva, João Batista Dias**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos (amandafsilva@gmail.com)

Universidade do Vale do Rio dos Sinos (joaabd@unisin.br)

### **Resumo**

O objetivo deste estudo é apresentar um projeto de uma casa sustentável, correlacionando os conceitos de arquitetura bioclimática com microgeração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Integrando o ambiente construído, desde a elaboração da casa, até a microgeração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos. Apresentam-se cálculos de eficiência energética conforme Norma Brasileira 15220 para a cidade de Porto Alegre - RS. Para melhores resultados em relação à eficiência energética foram utilizadas alternativas sustentáveis de uso e aproveitamento de energia. Diminuindo o consumo de energia elétrica, foram criados arranjos de módulos fotovoltaicos que atendam a demanda energética de uma família com quatro pessoas.

Palavras-chave: Arquitetura Bioclimática, Eficiência Energética, Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.

Área Temática: Tema 9 – Energia e energias renováveis.

## **Study of photovoltaic energy in bioclimatic architecture**

### **Abstract**

*The aim of this study is to present a design of a sustainable home, correlating the concepts of bioclimatic architecture with microgeneration of electricity by means of grid-connected photovoltaic systems. Integrating the built environment, from the drafting of the house, to the microgeneration of electricity by photovoltaic panels. We present calculations of energy efficiency as Brazilian Norm 15220 for Porto Alegre - RS city. For best results in terms of energy efficiency were used alternative sustainable use and management of energy. Reducing the consumption of electricity, were created arrangements of photovoltaic modules that meet energy consumption of a family with four people.*

*Key words: Bioclimatic Architecture, Energy Efficiency, Grid-connected photovoltaic systems.*

*Theme Area: Theme 9 - Energy and renewable energy.*



## 1 Introdução

O crescimento do mundo está cada vez mais acelerado, a busca por fontes de energia renováveis e não poluentes está cada vez mais em pauta nos dias atuais. Durante 10 mil anos, a população do planeta manteve-se por volta de 1 bilhão de pessoas. Mas com a revolução industrial houve um salto gigantesco neste número. O avanço tecnológico oportunizado pelo uso da energia e as máquinas que com elas eram movimentadas, as doenças foram controladas, nos alimentamos melhores e vivemos mais, e em 200 anos passamos para 7 bilhões de habitantes. Em busca de fontes de energia mais sustentáveis chegamos à geração de energia através de sistemas fotovoltaicos.

Como os custos de instalação desses sistemas fotovoltaicos são considerados ainda elevados, buscaram-se aliar os conceitos de arquitetura bioclimática para uma maior eficiência energética e reduzir o consumo de energia, visando à diminuição destes custos.

A Arquitetura Bioclimática consiste em pensar e projetar um edifício levando em conta toda a envolvimento climática e características ambientais do local em que se insere. **Buscam-se** condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de conforto térmico, luminoso e acústico do homem. Ela permite a integração de várias áreas do saber, criar projetos únicos para cada situação e considerar não só os aspectos climáticos como também aspectos ambientais, culturais, socioeconômicos e tecnológicos (LANHAM, A.; GAMA P.; BRAZ R, 2004).

Propõem-se projetar levando em conta o aperfeiçoamento do potencial energético no local a que se destina a instalação. Com isso aplica-se o que é denominado Arquitetura Solar Ativa, que lida com os mecanismos de sistemas fotovoltaicos para gerações de energia elétrica. Lida-se com outro aspecto que é o da construção sustentável, que analisa o impacto ambiental de uma casa desde os materiais utilizados, técnicas de construção e condições climáticas como temperatura e ventos predominantes.

## 2 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou uma nova Resolução Normativa criando a regulamentação necessária para que os consumidores de energia elétrica possam ser também mini e microgeradores de energia através de sistemas fotovoltaicos. Isto permite a produção de energia a partir de unidades consumidoras e a disponibilização do excedente energético para a rede elétrica pública através de um sistema de compensação. Este sistema de compensação consiste basicamente em adicionar à conta do consumidor toda a energia que ele utilizar do sistema público e subtrair da mesma toda a energia que ele injetar na rede, proveniente da geração a partir de sistemas fotovoltaicos. Esta regulamentação é uma grande conquista do Brasil, que caminha para a eficiência energética, modernização da sua matriz energética e, principalmente, preocupação com os grandes impactos ambientais causados pela geração de eletricidade em larga escala.

Esses sistemas representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de pequeno, médio e grande porte para o qual são conectados. Todo o arranjo fotovoltaico é conectado em inversores e estes fazem a interface com a rede elétrica. O sistema consiste em um gerador fotovoltaico (módulos interconectados e estrutura de apoio), inversor (que converte corrente contínua produzida pelos módulos em corrente alternada) para assim poder alimentar a residência e/ou disponibilizar energia para a rede.

Alguns fatores determinam o rendimento de um sistema fotovoltaico. Entre eles está a tecnologia do módulo, pois é através da mesma que se dá o aproveitamento da incidência solar. Outro fator importante é a configuração do sistema, pois é a quantidade de *strings* e a



quantidade de módulos presentes em cada string que determinam um bom dimensionamento do sistema.

### 3 Eficiência energética e projeto arquitetônico

O comportamento térmico da casa em estudo é determinado, principalmente, em função das condições ambientais externas. Em residências, a ocupação é menor do que em um edifício comercial, de modo que há menos geração de calor interno vindo de pessoas, computadores e sistemas de iluminação artificial, por exemplo. Nesse caso os ganhos de calor se dão através das superfícies externas (paredes e cobertura) e das aberturas existentes. Consequentemente as condições de exposição à insolação e à ventilação dão os principais fatores determinantes para o desempenho térmico de uma residência. O projeto arquitetônico incorpora estratégias bioclimáticas, como o melhor aproveitamento da luz e da ventilação natural, assim como materiais construtivos mais adequados para adaptar a edificação ao contexto climático que ela se insere. Dispõem também de aberturas nas fachadas a fim de favorecer o aproveitamento dos ventos predominantes da região e protetores solares para evitar a insolação indesejável.

A NBR 15220 é uma referência normativa para a prescrição de estratégias bioclimáticas a serem incorporadas em projetos de edificações. As estratégias de condicionamento ambiental recomendadas pela NBR 15220-3 são baseadas na carta bioclimática de Givoni (NBR 15220-2). Cada cidade localiza-se em uma zona especificada pela norma e em cada zona contém determinadas estratégias bioclimáticas que são definidas pela norma (LAMBERTS, R, 2004).

Nas planilhas de Mahoney (NBR 15220-2) encontra-se a definição dos limites das propriedades térmicas dos elementos construtivos (paredes e coberturas): Fator Solar, Atraso Térmico e Transmitância Térmica. Também são indicados percentuais de área de piso relativos às aberturas para ventilação, classificando-as em pequenas, médias ou grandes.

Transmitância térmica ou Coeficiente global de transferência de calor ( $U$ ) é uma propriedade dos componentes construtivos relacionada à permissão da passagem de uma taxa de calor, medida em  $W/m^2K$ . Está relacionada à espessura do componente e à condutividade térmica dos seus materiais constituintes, e representa sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de área e diferença de temperatura.

Atraso térmico ( $\phi$ ) indica o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo. Por exemplo: o tempo transcorrido entre o pico de temperatura máxima do ar externo e a temperatura máxima do ar em um ambiente interno.

Fator solar ( $F_{so}$ ): em componentes opacos, representa o quociente da taxa de radiação solar transmitida através do componente pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo..

A casa foi projetada para a cidade de Porto Alegre – RS e está inserida na zona bioclimática 3. Nesse caso as diretrizes construtivas recomendadas pela NBR 15220-3 são: para o verão é recomendada a ventilação cruzada. Para o inverno são recomendados o aquecimento solar da edificação e o uso de vedações internas pesadas (denominado inércia térmica). O dimensionamento das aberturas para ventilação e sombreamento dessas aberturas



são definidas conforme a área do piso variando entre 15 a 25%. Recomenda-se ainda referente ao sombreamento que seja permitida a entrada de sol durante o inverno. Por fim, são definidas as propriedades térmicas das vedações externas. No caso das paredes, que devem ser leves e refletoras, o valor limite da transmitância térmica (U) é igual a 3,60 W/m<sup>2</sup> K. O atraso térmico ( $\phi$ ) deve ser igual ou inferior a 4,3 horas e o fator solar (FSo) deve ser menor ou igual a 4%. Quanto à cobertura, que deve ser leve e isolada, o valor limite da transmitância térmica é igual a 2,00 W/m<sup>2</sup> K. O atraso térmico deve ser igual ou inferior a 3,3 horas e o fator solar deve ser menor ou igual a 6,5%.

Levando em conta essas recomendações foram calculados os valores de transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para as paredes e coberturas, utilizando-se os procedimentos de cálculo descritos na própria NBR 15220, parte 2 (ABNT, 2005b). As Figuras 2 e 3 indicam os valores das propriedades térmicas correspondentes às paredes e cobertura da casa.

Figura 2- Parede externa de tijolo maciço duplo revestido com argamassa.

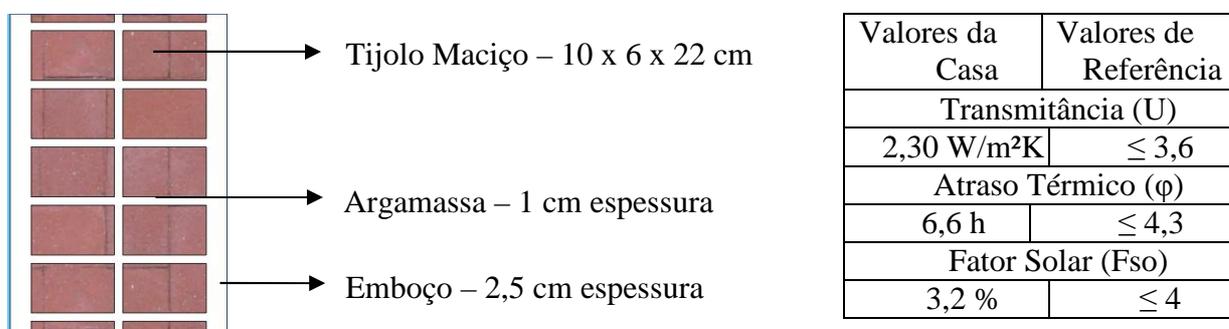
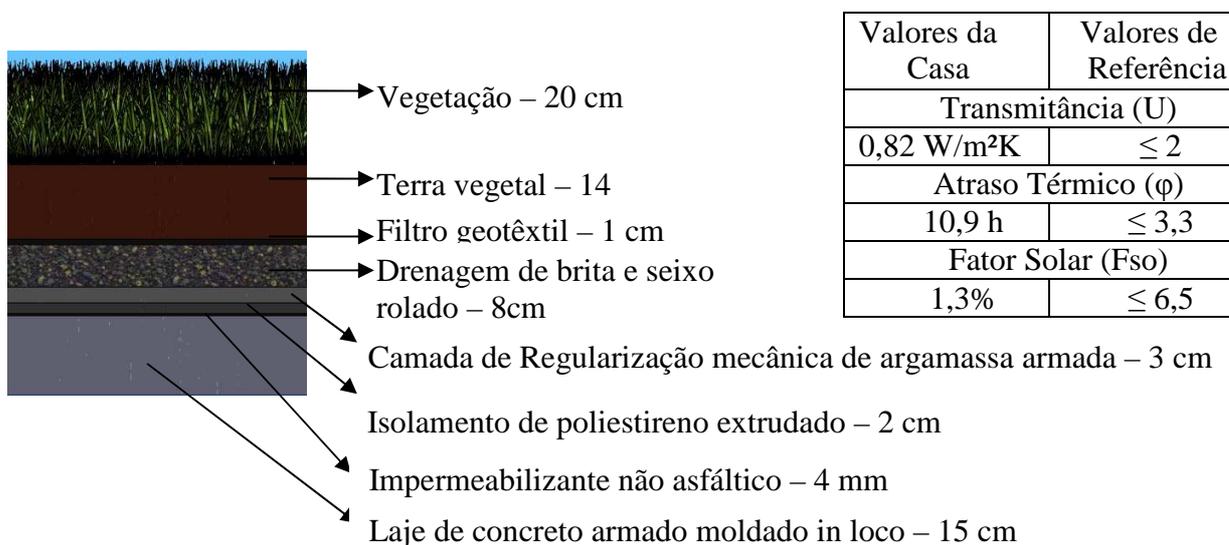


Figura 3- Telhado verde.



Na casa todas as portas e janelas dos ambientes de maior permanência, como sala, cozinha e quartos, possuem dispositivos de sombreamento fixos. Colocar as aberturas em uma melhor orientação solar foi uma das diretrizes principais para o projeto. (Figura 4).

Nas áreas de varanda existe um dispositivo fixo, chamado de pergolado, podendo ou não ser adicionada vegetação ou telhas semitranslúcidas (Figura 5). Nas janelas restantes de orientação solar leste, norte e oeste foram adicionados dispositivos de sombreamento fixos (Figura 6).



Figura 4 - Planta baixa da casa.

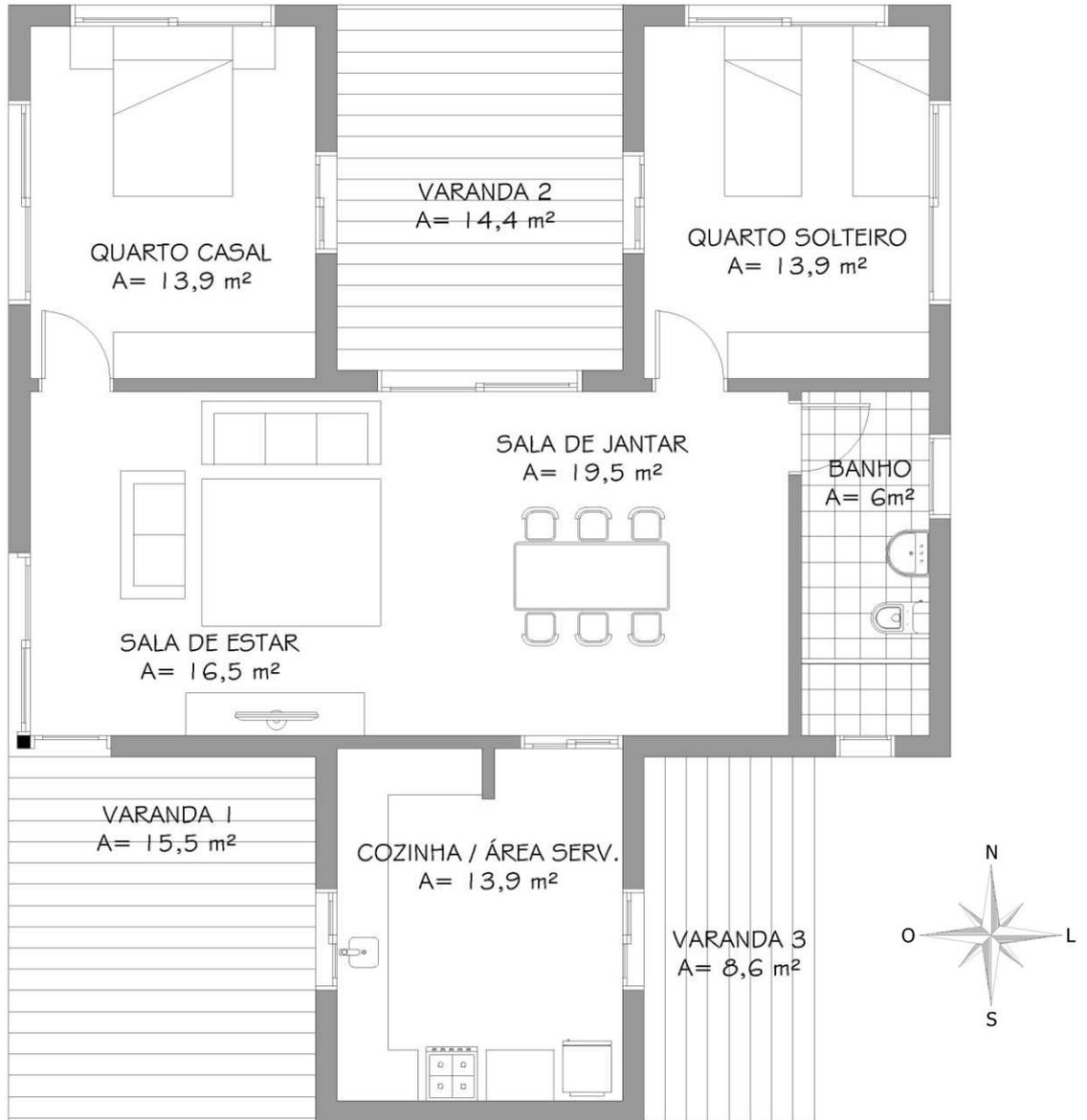


Figura 5 - Vegetação adicional.





Figura 6 - Dispositivos de sombreamento fixos.



## 4 Sistema Fotovoltaico

Para a realização do dimensionamento do sistema fotovoltaico primeiramente estimou-se o consumo da casa projetada. A simulação foi feita pelo simulador da COPEL (Companhia Paranaense de Energia). Obteve-se com isso um consumo mensal de 166 kWh e por consequência um consumo anual de 2000 kWh.

Para a formação do arranjo fotovoltaico, encontram-se vários módulos disponíveis com tecnologias de silício monocristalino (m-Si Mono), silício multicristalino (c-Si Multi), silício amorfo (a-Si) e disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS). Mas as duas tecnologias mais disponíveis no Brasil são as de silício monocristalino e multicristalino. A tecnologia escolhida para simulação foi o silício multicristalino. A montagem do sistema é representada na Figura 7, e conta com um inversor de 1700 W para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica e 20 módulos de 100W<sub>p</sub>. O arranjo fotovoltaico é composto de 2 strings em paralelo, cada um com 10 módulos ligados em série. A potência total instalada é de 2000 W<sub>p</sub>. Os componentes básicos do sistema são vistos na Tabela 1.

Figura 7 – Diagrama do sistema fotovoltaico.

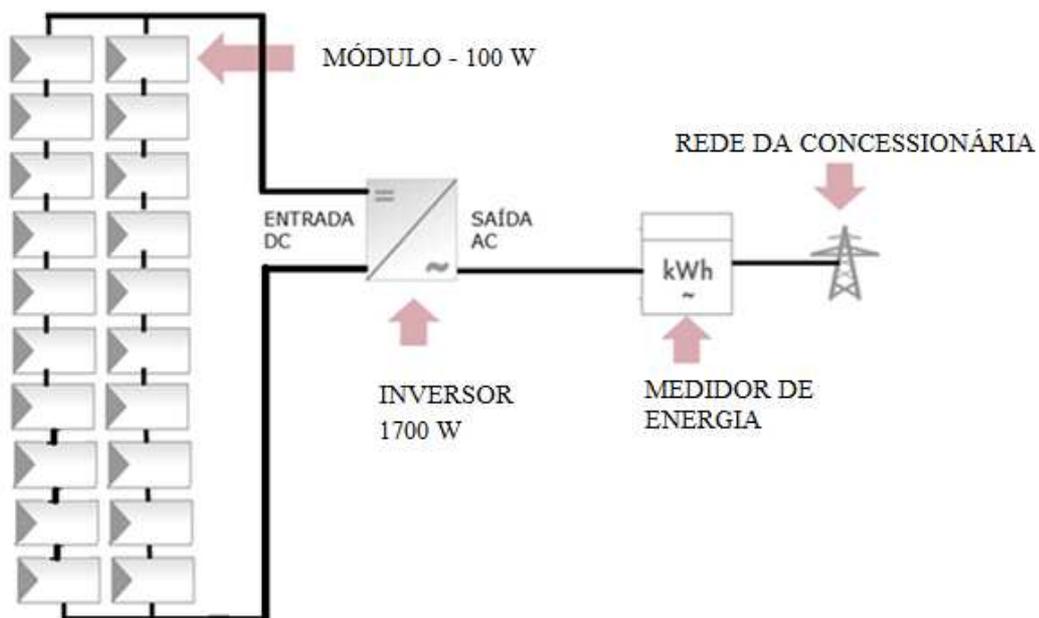


Tabela 1 - Componentes básicos do sistema

Componentes	Quantidade	Potência
Módulos 100 W <sub>p</sub>	20	2000 W <sub>p</sub>
Inversor	1	1700 W
Medidor de energia	1	-



## 5 Resultados

A casa projetada possui área disponível de telhado de 71,54 m<sup>2</sup> para a inserção dos módulos. A área total ocupada pelo arranjo fotovoltaico é de 20,04 m<sup>2</sup>. A Figura 8 mostra a disposição dos módulos fotovoltaicos na cobertura da casa projetada.

Figura 8 - Disposição dos módulos fotovoltaicos na cobertura da casa projetada



O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado no programa *Sunny Design*, da *SMA Solar Technology AG*. Com um consumo mensal de aproximadamente 166 kWh obtém-se os seguintes resultados expressados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados da simulação

Simulação anual	
Energia produzida pelo sistema FV	2201,50 kWh
Energia injetada na rede	1469,81 kWh
Energia disponibilizada pela rede	1268,31 kWh
Consumo próprio residencial	731,69 kWh
Quota de consumo próprio (%)	33,2 %

## 6 Considerações finais

O principal objetivo deste trabalho foi mostrar alternativas que sejam eficientes e que não somente economizem energia, mas que tenham um retorno ao meio ambiente e para a sociedade. Em um país tropical como o Brasil com elevados níveis de radiação solar, disponíveis em todos os lugares em maior ou menor escala, o uso desta tecnologia vem se tornando cada vez mais indispensável. O sistema fotovoltaico projetado é capaz de atender o consumo da residência. Em alguns momentos é feita a compra de energia da rede pública. Em outros, o sistema injeta energia na rede para ser compensada posteriormente. Alternativas como estas são de grande valia, pois a energia é produzida diretamente no ponto de consumo, descentralizada, minimizando os investimentos em novas linhas de transmissão. Escolhas certas que se dão desde a concepção do projeto, unindo arquitetura e tecnologia, para uma melhor eficiência.



## Agradecimentos

Agradecimento especial ao Programa Institucional de Bolsas de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do CNPq (PIBITI/CNPq) pela concessão da bolsa que permitiu a realização deste estudo.

## Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: desempenho térmico de edificações**. Parte 1: definições, símbolos e unidades. 2003. Rio de Janeiro, RJ.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: desempenho térmico de edificações**. Parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. 2003 Rio de Janeiro, RJ.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: desempenho térmico de edificações**. Parte 3: zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. 2003. Rio de Janeiro, RJ.

LANHAM, A.; GAMA P.; BRAZ R. **Arquitetura Bioclimática Perspectivas de inovação e futuro**: Seminários de Inovação. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. 2004. Lisboa, PRT. Disponível em: [http://www.gsd.inesc-id.pt/~pgama/ab/Relatorio\\_Arq\\_Bioclimatica.pdf](http://www.gsd.inesc-id.pt/~pgama/ab/Relatorio_Arq_Bioclimatica.pdf). Acesso em: 8 de abril 2013.

LAMBERTS, R. **Desempenho Térmico de edificações - Aula 4: Avaliação Bioclimática**. Universidade federal de Santa Catarina – UFSC. 2012. Florianópolis, SC. Disponível em [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161%20Aula%204%20-%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20bioclim%C3%A1tica\\_0.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV5161%20Aula%204%20-%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20bioclim%C3%A1tica_0.pdf). Acesso em: 1 de julho 2013.

SMA SOLAR TECHNOLOGY AG, 2012. *Sunny Design 2.11*. <http://www.sma-france.com/fr/produits/logiciels/sunny-design.html>.